

Chloranalytik in heizwertreichen Abfällen - nicht mehr (als) nötig!

Ralf Ketelhut (Neumünster)

Die Untersuchung von EBS-Vorprodukten, Ersatzbrennstoffen, heizwertreichen Schwerstofffraktionen und automatisch abgetrenntem PVC in Schleswig-Holstein zeigt auf, dass die Erzeugung von hochwertigem Ersatzbrennstoff eine PVC-Abtrennung erfordert. Bei der Bestimmung des Chlorgehaltes bewähren sich Sortieranalysen.

In der vom Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein geförderten Untersuchung wurden über den Zeitraum eines halben Jahres aus neunzehn Vor- und Endprodukten der Ersatzbrennstoffaufbereitung insgesamt 833 kg heizwertreiche Abfälle mit 142.620 Artikeln > 15 mm gewonnen, sortiert, verwogen und fraktioniert analysiert.

Teil 1 stellt die Grundlagen der artikelbezogenen Vorgehensweise dar und berichtet über die Ergebnisse der EBS-Vorprodukte. Teil 2 beinhaltet die Ergebnisse der Untersuchungen der Ersatzbrennstoffe sowie der Sonderfraktionen heizwertreiche Schwerstoffe und automatisch abgetrenntes PVC.

1 Einleitung

Der Trend zur Produktion von Ersatzbrennstoffen (EBS) aus Hausmüll und Gewerbeabfällen hält unvermindert an. Für den Einsatz von EBS in den verschiedenen Verbrennungsanlagen gewinnt die aussagesichere Definition der Materialqualitäten mehr und mehr an Bedeutung. Dabei geht es immer wieder um den Gehalt an Störstoffen und insbesondere um den Chlorgehalt.

Angesichts der Heterogenität der verarbeiteten Inputmaterialien ist es nach wie vor schwierig, belastbare Aussagen über die Materialqualität zu gewinnen¹.

Nachdem in artikelbezogenen Sortieranalysen neuartige Ansatzpunkte zur Charakterisierung heterogener Abfälle gewonnen werden konnten², sollte die Systematik mit Unterstützung des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume

des Landes Schleswig-Holstein auch für die Qualitätssicherung in der Ersatzbrennstoffaufbereitung eingesetzt werden.

Zielsetzungen der Untersuchung waren, die Qualitätssicherung von Ersatzbrennstoffen auf eine valide Grundlage zu stellen und von der Probenahme bis hin zur chemischen Analytik eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse (insbesondere für den Chlorgehalt) herzustellen.

2 Grundlagen

Der artikel- bzw. teilchenbezogene Ansatz³ versteht heterogene Materialgemische als ein Zweistoffgemisch. Er ist leicht anwendbar für sortierfähige Teile > 15 mm. Die Grundgesamtheit wird als dichotom angesehen, d.h. die enthaltenen Teilchen erfüllen ein betrachtetes Merkmal oder sie erfüllen es nicht: sie sind z.B. mineralisch oder eben nicht-mineralisch, magnetisierbar oder nicht magnetisierbar, nativ-organischen Ursprungs oder nicht nativ-organischen Ursprungs, Chlorfrachtträger oder Nicht-Chlorfrachtträger.

Jede Probenahme wird damit unter statistischen Erwägungen zu einer „Ziehung ohne Zurücklegen“ mit unbekannter Varianz⁴.

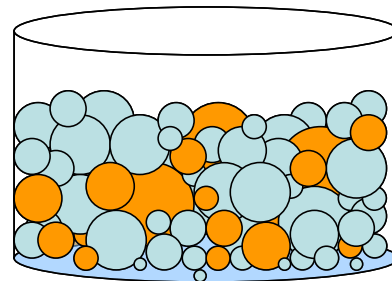


Abbildung 1: Heterogene Systeme als Zweistoffgemisch

Die statistische Beschreibung erfolgt üblicherweise durch die Hypergeometrische Verteilung, die in Fällen, in denen die Stichprobe weniger als 5% der Grundgesamtheit ausmacht, gern durch die etwas einfacher zu handhabende Binominalverteilung angenähert wird. Die Binominalverteilung wiederum konvergiert für große Stichproben gegen die Normalverteilung und kann in der Regel dann durch sie approximiert werden, wenn folgende Bedingung erfüllt ist⁵:

¹ vgl. Schirmer 2007, Seite 186

² vgl. Ketelhut 2006, 2006a

³ vgl. Ketelhut 2006b

⁴ vgl. Wilker 2006, Seite 62ff

⁵ vgl. Wilker 2006, Seite 79

$$n \cdot \hat{p} \cdot (1 - \hat{p}) > 9 \quad \text{Gleichung 1}$$

mit: n Probenumfang, Stückzahl
 \hat{p} Schätzwert des Erwartungswertes für Merkmalsträger

Werden zum Beispiel in einer 1.000 Teile umfassenden Stichprobe 40 Merkmalsträger gefunden, so wäre das Kriterium gemäß

$$1.000 \cdot 0,04 \cdot (1 - 0,04) = 38,4 \quad \text{Gleichung 2}$$

erfüllt und die Normalverteilung könnte zur Näherung herangezogen werden.

Weniger bekannt ist, dass auch mit der logarithmischen Normalverteilung eine gute Näherung der Hypergeometrischen bzw. der Binominalverteilung erreicht werden kann. Nachfolgende Abbildung zeigt die für das genannte Beispiel auftretenden Summenhäufigkeitsverteilungen:

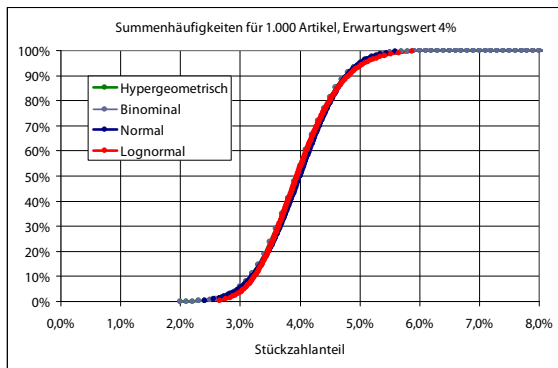


Abbildung 2: Summenhäufigkeiten im Vergleich

2.1 Massengehalte

Störstoffgehalte werden in Spezifikationen im Regelfall als Massengehalte angegeben. Der Massengehalt z.B. an Mineralik definiert sich unter Bezugnahme auf die Artikel gemäß:

$$M_{Min} = \frac{m_{Min}}{m_{Gesamt}} = \frac{n_{Min} \cdot \bar{m}_{Min}}{n_{Gesamt} \cdot \bar{m}_{Gesamt}} \quad \text{Gleichung 3}$$

mit: M_{Min} Mineralikgehalt [Gew%]
 m_{Min} Masse der Mineralik [g]
 m_{Gesamt} Gesamtmasse [g]
 n_{Min} Stückzahl Mineralikteilchen
 \bar{m}_{Min} mittleres Artikelgewicht [g]
 n_{Gesamt} Gesamtstückzahl
 \bar{m}_{Gesamt} mittleres Artikelgewicht aller Teilchen [g]

Für jede Probenahme aus heterogenen stückigen Materialien ergibt sich für die Abschätzung des Massengehaltes aus der obigen Gleichung mit

einem artikelbezogenen Ansatz als Zweistoffgemisch:

$$M_{Min} = \frac{n_{Min}}{n_{Gesamt}} \cdot \frac{\bar{m}_{Min}}{\bar{m}_{Gesamt}} = r \cdot k \quad \text{Gleichung 4}$$

mit: r Schätzwert Stückzahlgehalt
 k Schätzwert Verhältnis der mittleren Artikelgewichte

Die Aussagesicherheit der durch die Probenahme gewonnenen Informationen hängt davon ab, wie gut die beiden Einflussfaktoren bestimmt werden können. Für den Stückzahlgehalt gilt, dass die Probe so groß gewählt werden muss, dass die Merkmalsvertreter in hinreichender Anzahl in die Probe gelangen können. Für einen Erwartungswert von 4% für die Stückzahlhäufigkeit ist erfahrungsgemäß eine Probengröße von 500 Artikeln sicher ausreichend⁶.

Um das mittlere Artikelgewicht der Merkmalsträger hinreichend gut abbilden zu können, sind erfahrungsgemäß mindestens 200 Merkmalsträger in einer Probe erforderlich. Das bedeutet, dass zur Bestimmung eines Massengehaltes bei einem Erwartungswert von 4% für den Stückzahlgehalt der Merkmalsträger der Probenumfang mindestens 5.000 Teile umfassen sollte.

Allgemein lässt sich für die Ermittlung von Massengehalten in Abhängigkeit von der Stückzahlhäufigkeit⁷ folgende Empfehlung zur Bemessung des Probenumfanges ableiten:

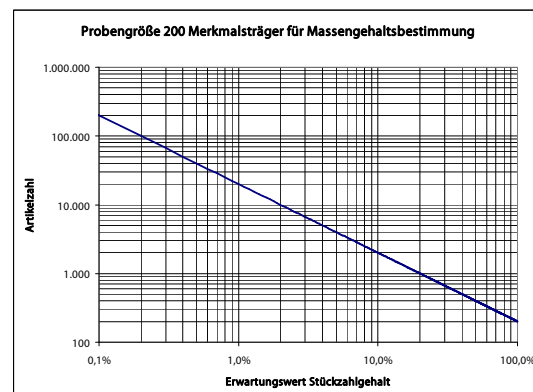


Abbildung 3: Empfehlung zur Probendimensionierung für Massengehalte

⁶ Die Wahrscheinlichkeit, dass bei einem Erwartungswert von 4% kein Merkmalsträger in einer 500 Teile-Probe anzutreffen ist, liegt bei $1,37 \cdot 10^{-9}$; das Kriterium für die Näherung durch die Normalverteilung ist mit 19,2 erfüllt.

⁷ ein Schätzwert für den Erwartungswert der Stückzahlhäufigkeit lässt sich durch Auszählen einer Probe gewinnen

2.2 Chlorgehalt

Bei der Bestimmung des Chlorgehaltes ist zu beachten, dass die Chlorfrachtträger unterschiedliche Konzentrationen des Elementes enthalten können.

Es hat es sich als praktikabel erwiesen, sich auf synthetisch organische Chlorfrachtträger zu konzentrieren, da diese mittels automatischer Sortiertechnik erkannt und abgetrennt werden können. Andere wie zum Beispiel anorganische Chlorfrachten liefern eine kaum reduzierbare Hintergrundkonzentration, die in der Größenordnung von 0,3⁸ bis 0,5 Gew% liegt.

Das Zweistoffgemisch bzw. das Bild der Probenahme als Ziehung bedarf für Elementkonzentrationen einer leichten Modifikation:

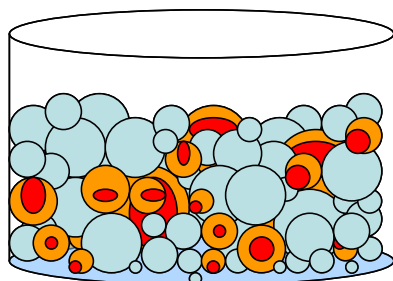


Abbildung 4: Elementkonzentrationen im Zweistoffgemisch

Die Elementkonzentrationen in den Artikeln sind durchaus unterschiedlich. Wichtig ist, dass sie sich von der Hintergrundkonzentration deutlich unterscheiden und dies einfach erkennbar bzw. nachweisbar ist. In der Praxis erfolgt die Erkennung mit dem Beilsteintest.

Die Gleichung zur Bestimmung des Chlorgehaltes zeigt folgendes Bild⁹:

$$Cl = r\kappa(Cl_{FT} - Cl_H) + Cl_H \quad \text{Gleichung 5}$$

mit: Cl Schätzwert Chlorkonzentration [Gew%]
 r Schätzwert Stückzahlgehalt FT
 κ Schätzwert Verhältnis der mittleren Artikelgewichte
 Cl_{FT} Schätzwert Chlorkonzentration in Frachtträgern [Gew%]
 Cl_H Schätzwert Chlorkonzentration im Hintergrund [Gew%]

In Bezug auf die Dimensionierung des Probenumfanges ist neben der Stückzahlhäufigkeit und dem

Verhältnis der Artikelgewichte nun auch die Differenz der Chlorkonzentration in Frachtträgern und Hintergrund zu beachten.

Die Chlorkonzentration in PVC-Produkten ist bekannt. Weich-PVC-Produkte enthalten etwa 30 Gew% Chlor, in Hart-PVC-Artikeln können bis zu 50 Gew% Chlor enthalten sein. PVDC-Folien¹⁰ enthalten bis zu 56 Gew% Chlor. In Abfällen liegen PVC-Artikel vielfach im Verbund mit anderen Materialien vor, so dass die Maximalkonzentrationen in der Regel nicht erreicht werden. Ein Einfahrungswert für den Chlorgehalt der Frachtträgerfraktion liegt bei etwa 20 Gew% Chlor.

Zur Einstellung der mittleren Chlorkonzentration in einer Probe sind erfahrungsgemäß 100 Artikel ausreichend.

Von den drei Einfluss nehmenden Faktoren

- ▶ Stückzahl
- ▶ Verhältnis der mittleren Artikelgewichte und
- ▶ Differenz der Chlorkonzentration

bedarf das Verhältnis der Artikelgewichte der größten Aufmerksamkeit. Hier sind mindestens 200 Artikel in einer Probe erforderlich, um eine gute Abschätzung des Verhältnisses zu erhalten.

Sind in einer Probe deutlich weniger als 200 Chlorfrachtträger enthalten läuft man Gefahr, die statistischen Schwankungen des Artikelgewichtes der Chlorfrachtträger in der Probe zu vermessen und weniger den Chlorgehalt der Grundgesamtheit.

2.3 Auswertung

Für die Auswertung werden die Faktoren einzeln bestimmt und durch statistische Verteilungen angenähert. Die Massengehalte der Störstoffe und auch der Chlorgehalt eines Abfalls werden dadurch aus den gewonnenen Daten berechenbar und als klar definierte statistische Verteilung darstellbar.

Für eine Einzeluntersuchung wird der Stückzahlgehalt in Anlehnung an die hypergeometrische bzw. die Binominalverteilung ermittelt. Für Messreihen werden die real gefundenen Stückzahlgehalte der Einzeluntersuchungen durch eine gesonderte Verteilung angenähert.

⁸ vgl. Bilitewski 2007, Seite 15

⁹ zur Herleitung vgl. Ketelhut 2005, 2006a

¹⁰ PVDC: Polyvinylidenchlorid $-(CH_2-CCl_2)_n-$

Die Verteilung des Massenfaktors κ wird durch virtuelle Probenahme auf der Basis der erarbeiteten Stückmassenverteilungen ermittelt, durch eine Verteilung angenähert und so ebenfalls berechenbar abgebildet.

Der Chlorgehalt in Frachtträgern und Hintergrund kann für Einzeluntersuchungen ohne großen Fehler aus Erfahrungswerten abgeschätzt werden. Die analytische Untersuchung des Chlorgehaltes für die Einzelprobe ist nicht erforderlich und in der Regel auch nicht sinnvoll, da die Aussagesicherheit stark vom Probenumfang der Einzelprobe und der konkreten Beschaffenheit der Frachtträger in der Probe abhängt.

Für Messreihen erfolgt eine analytische Bestimmung des Chlorgehaltes von Sammelproben der sortierten Fraktionen. Die Chlorgehalte in den Sortierfraktionen NE-Metalle, Fe-Metalle und Mineralik wurde nicht bestimmt und als vernachlässigbar angesehen.

Aufgrund der Berechnungen auf der Basis der Feuchtgewichte wird auch der Chlorgehalt bezogen auf die Originalsubstanz ermittelt.

3 Vorgehensweise

Im Rahmen des Projektes wurden insgesamt

- ▶ 5 Ersatzbrennstoffe (EBS)
- ▶ 10 EBS-Vorprodukte (EBS-VP)
- ▶ 2 heizwertreiche Schwerstofffraktionen sowie
- ▶ 2 mit Nahinfrarot abgetrennte PVC-Fraktionen

in jeweils sieben Tages-Mischproben charakterisiert.

Jede Tagesmischprobe wurde nach Möglichkeit in mindestens acht Einzelproben über einen längeren Zeitraum aus dem fallenden Strom der produzierenden Anlage gewonnen. Dort, wo die Probenahme aus dem fallenden Strom nicht möglich war (z.B. Leichtstoffabsaugung direkt in Container), wurde eine größere Haufwerksprobe auf die Zielgröße von etwa 1.000 Teilen heruntergeteilt.

Die Tagesproben wurden ins Sortierkontor verbracht. Der Feinkornanteil < 15 mm wurde abgeseibt und für eine Anlagensammelprobe zurückgestellt. Die Artikel > 15 mm wurden in die Fraktionen

- ▶ Fe-Metall (Neodym magnetisierbar)
- ▶ NE-Metall (Aluminium, Kupfer etc.)

- ▶ Mineralik (Glas, Steine, Keramik)
- ▶ native Organik (PPK, Pflanzen, Tierprodukte, Naturfasertextilien)
- ▶ Beilstein positive Kunststoffe (FT¹¹)
- ▶ Beilstein negative Kunststoffe (NFT¹²)

sortiert.

Von jeder Sortierfraktion einer Tagesprobe wurden Stückmassenverteilungen erstellt. Von den Sortierfraktionen Organik und NFT wurden jeweils Rückstellproben für eine Anlagen-Mischprobe gebildet, die gefundenen FT wurden vollzählig in die Anlagenmischprobe übernommen.

Die fraktionierten Anlagenmischproben wurden bei der Firma Behrendt Rohstoffverwertung GmbH mit einem 11 kW Shredder der Firma Tria unter Einsatz eines 15 mm Rundlochbleches vorzerkleinert.



Abbildung 5: Vorzerkleinerer

Die vorzerkleinerten Proben wurden durchmischt und mit der Schüttkegelmethode auf ein Volumen von 5 Litern (ca. 10.000 Teile) eingengt und gemeinsam mit den Anlagenmischproben des Materials < 15 mm zur chemischen Analyse an die NUTECH Gesellschaft für Lasertechnik, Materialprüfung und Meßtechnik mbH übergeben.

Die Nutech verfügt über profunde Erfahrung bei der kontinuierlichen Qualitätssicherung von Ersatzbrennstoffen. Dort wurden die Proben in zwei weiteren Zerkleinerungsaggregaten auf eine Korngröße von 0,5 mm gebracht.

¹¹ FT: (Chlor-)Frachtträger

¹² NFT: Nicht-(Chlor-)Frachtträger



Abbildung 6: Probenvorbereitung Nutech

Die chemische Analytik bei der Nutech erfolgte mittels wellenlängendispersiver Röntgenfluoreszenzspektrometrie (WDXRF) auf 30 chemische Elemente inklusive Chlor. Weiterhin wurden der Wassergehalt sowie der Aschegehalt der Proben bestimmt.

Die 76 Rückstellproben < 0,5 mm der fraktionierten Anlagenproben wurden zur Absicherung der Chloranalytik parallel im Chemisch-Technischen Laboratorium Luers KG nach DIN 51577 auf ihren Chlorgehalt untersucht.

4 Ergebnisse EBS-Vorprodukte

Die Ergebnisse des Projektes werden in Rücksprache mit den beteiligten Unternehmen anonymisiert dargestellt. Der Schwerpunkt der Auswertung liegt auf der Beschreibung der Materialqualitäten für die verschiedenen Aufbereitungsebenen.

Bei den EBS-Vorprodukten finden sich vier Fraktionen, die aus klassischen Gewerbe- und Bauabfällen entstehen. Weitere zwei Fraktionen werden als abgesaugte Leichtfraktionen ebenfalls aus Bau- und Gewerbeabfallsortieranlagen gewonnen. Eine Fraktion entstammt einer Anlage, die vorwiegend Sperrmüll zerkleinert und sortiert. Darüber hinaus wurden auch drei automatisch vorsortierte Fraktionen aus der Aufbereitung von Metallabfällen untersucht.

4.1 Feinkorn < 15 mm

Die Feinkorngehalte wurden durch Sortierung auf einem 15 mm Rundlochblech abgetrennt und

durch Verwiegung tagesprobenspezifisch ermittelt.

Die in insgesamt 38 Untersuchungen ermittelten Gehalte liegen für nicht vorzerkleinerte Gewerbeabfallfraktionen im Mittel bei 4,5%. Mit einer Ausagesicherheit von 95% liegen die Feinkorngehalte unterhalb von 10,7 Gew%.

Werden die Abfälle vorzerkleinert, erreicht der Feinkorngehalt Werte um die 30 Gew% vor.

4.2 Fe-Metall

In die Fe-Fraktion wurden alle Artikel sortiert, deren Eigengewicht von einem Neodym-Magneten getragen wird.



Abbildung 7: Fe-Metall einer Sortierprobe

Die Stückzahlgehalte neodym-magnetisierbarer Artikel liegen bei typischen Gewerbeabfällen im Mittel unter 1%. Werte oberhalb von 2% werden nicht erreicht. Bei abgesaugten Leichtfraktionen ist der Fe-Metallgehalt vernachlässigbar.

Bei Fraktionen aus der Fe-Metallaufbereitung liegt der Stückzahlgehalt mit 5 bis 15% der Artikel deutlich höher. Da es sich jedoch um sehr leichte Artikel handelt, schlägt sich der Stückzahlgehalt nicht in vollem Umfang im Massengehalt nieder.

Typische Massengehalte für Fe-Metall in EBS-Vorprodukten liegen zwischen 1 und 3,5 Gew%.

4.3 NE-Metall

Sortiertechnisch können nur solche Artikel erfasst werden, die visuell bzw. mit dem Neodym-Magneten als „nicht Neodym-magnetisierbare Metalle“ identifiziert werden können. Dies gilt in der Regel für Aluminium, Kupfer, Messing, Zinn, Zink Blei sowie nicht magnetisierbare Stähle.

Bei mit Aluminium beschichteten bzw. bedampften Kunststofffolien oder Papieren ist die Zuordnung manchmal schwierig. Hier müssen die Sortierspezifikationen entsprechend der Anforderungen des Verwerter im Einzelfall festgelegt werden.



Abbildung 8: NE-Metalle in einer Sortierprobe
Die Stückzahlgehalte liegen für Gewerbeabfälle inklusive der Leichtfraktionen im Mittel bei etwa 1%, das 95er-Perzentil weit einen Wert von 2% aus. Die auf den Anlagen gefundenen Massengehalte liegen inklusive der Shredderfraktionen im Mittel unter 2 Gew%. Das Vorprodukt aus Sperrmüll wies einen vernachlässigbaren NE-Gehalt auf.

4.4 Mineralik

Als Mineralische Bestandteile fallen vor allem Glas, Steine und Baureststoffe an.



Abbildung 9: Mineralik in einer Sortierprobe
In den Leichtfraktionen wie auch in der aus Sperrmüll produzierten Fraktion war der Mineralikgehalt erwartungsgemäß vernachlässigbar. Die anderen Proben zeigten auch innerhalb der Anlagenproben ein heterogenes Bild mit teilweise unerwartet hohen Stückzahlgehalten.

Bei einem Mittelwert von 3,5% werden wurden Stückzahlgehalte von bis zu 10% gefunden. Auch die ermittelten Massengehalte liegen recht hoch. Die anlagenspezifischen Mittelwerte liegen zwischen 3,5 und 15 Gew%.

4.5 Organik

Die Organikfraktion ist vielfach von Papier dominiert.



Abbildung 10: Organik in einer Sortierprobe
Die Stückzahlgehalte erreichen im Mittel knapp 60%. 95% der 45 untersuchten Proben zeigten Stückzahlgehalte zwischen 45 und 76%. Die Stückzahlgehalte in EBS aus Sperrmüll sowie in den Fraktionen aus der Metallaufbereitung liegen deutlich niedriger, aber auch hier werden im Mittel 22% erreicht.

Für die Massengehalte an Organik auf den Anlagen zeigen sich klar definierte Unterschiede. Jede Fraktion hat quasi „ihren typischen“ Organikgehalt. In der Regel ist von einem Organikgehalt zwischen 30 und 50% auszugehen.

4.6 NFT

Beilstein negative Kunststoffe sind neben der Organikfraktion Hauptbestandteile der EBS Vorprodukte.



Abbildung 11: NFT einer Sortierprobe
Die Stückzahlgehalte liegen im Mittel bei etwa 40%. In den Einzelfractionen sind Gehalte zwischen 25 und 55% angetroffen worden.

4.7 FT

Chlorfrachtträger umfassen im Wesentlichen PVC-Artikel. Es reagieren aber auch einzelne geschäumte Kunststoffartikel im Beilsteintest positiv.



Abbildung 12: FT in einer Sortierprobe
Anlagen, die mit gemischtem Gewerbeabfall bestückt werden, weisen im Mittel Stückzahlgehalte um die 4% auf. Das in 38 Sortierungen ermittelte 95er-Perzentil liegt bei 7%.

Bei Vorprodukten aus der Metallaufbereitung sowie der Sperrmüllaufbereitung unterliegt der Stückzahlgehalt chargenabhängig weit größeren Streuungen. Hier können sehr niedrige aber auch sehr hohe Stückzahlgehalte bis zu 30% auftreten.

4.8 Massenfaktor κ

Das Massenverhältnis der mittleren Artikelgewichte von Frachtträgern und Gesamtfraction lässt über die Gesamtzahl aller 75 Sortierungen gut abbilden.

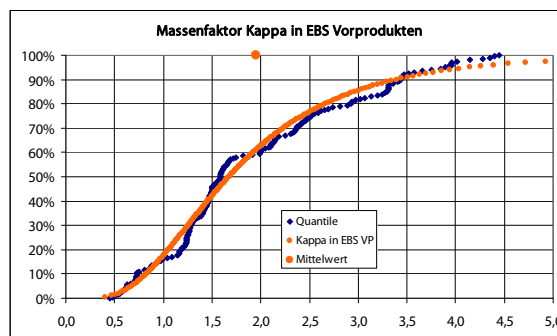


Abbildung 13: Massenfaktor κ in EBS-Vorprodukten

Chlorfrachtträger sind in 85% der gefundenen Fälle schwerer als die übrigen Artikel. Im Mittel sind Chlorfrachtträger etwa doppelt so schwer wie der mittlere Artikel.

4.9 Chloranalysen

Obwohl in beiden Labors identisches Probenmaterial < 0,5 mm benutzt worden ist, sind die Ergebnisse der fraktionierten Untersuchungen insgesamt uneinheitlich. Nachfolgende Abbildung zeigt die relative Abweichung der von Labor A ermittelten Werte zum Mittelwert aus A und B. Für Labor B ergeben sich die entsprechend reziproken Werte.

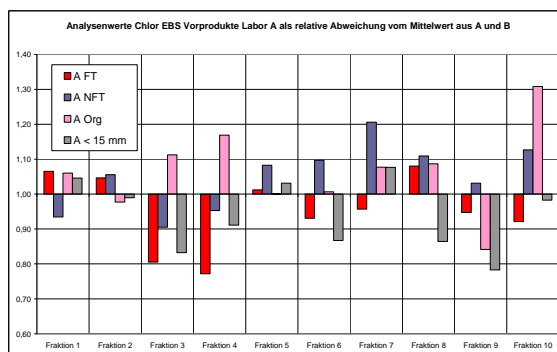


Abbildung 14: Analysenwerte Chlor Labor A relativ zum Mittelwert aus A und B

Die Werte schwanken ohne erkennbare Systematik um bis zu 30% um den Mittelwert. Für die Ermittlung der Chlorwerte ist mit den Mittelwerten aus Labor A und B gerechnet worden.

Die in 75 Sortierungen ermittelten Einzelwerte führen auf einen Mittelwert von 2,2 Gew%. 95% aller Werte liegen unterhalb von 6,1%.

Chlorwerte unter 1% finden sich beim EBS aus Sperrmüll sowie in der Leichtfraktion aus Gewerbeabfall. Sonderfraktionen aus der Metallaufbereitung können im Einzelfall recht hoch belastet sein.

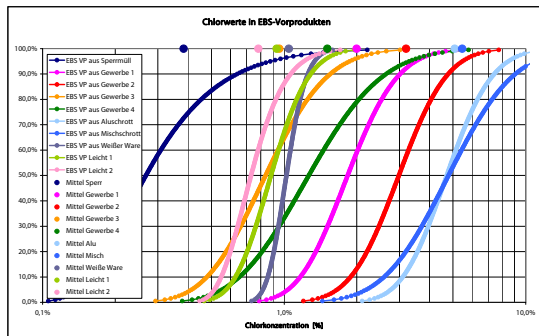


Abbildung 15: Chlorwerte in EBS-Vorprodukten
Der typische Spezifikationswert von 1 Gew% kann nur vom Vorprodukt aus Sperrmüll mit 95% Aus-sagesicherheit eingehalten werden. Für alle ande-ren Fraktionen wäre eine Chloranreicherung erforder-lich.

Die Auswertung der Mittelwerte der fraktionierten Analysen zeigt trotz der divergierenden Labor-werte ein deutliches Bild:

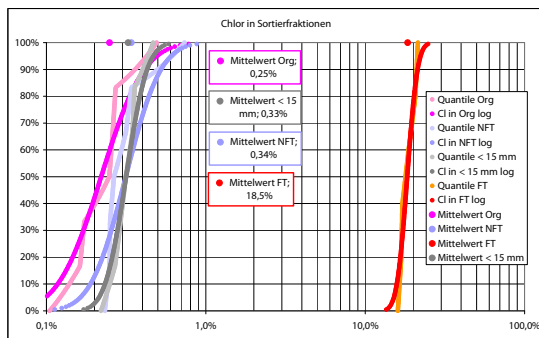


Abbildung 16: Chlorwerte in den Sortierfraktion-ten EBS-Vorprodukt

Während die Chlorgehalte in Organik, NFT und auch im Feinfraktion < 15 mm deutlich unter 1 Gew% liegen, weisen die Frachtträgerfraktionen Chlorgehalte um 20 Gew% auf.

Der Anteil des durch die Frachtträger eingetragenen Chlors liegt je nach Anlage verarbeitetem Material zwischen 45 und über 90%. Im Mittel liegt die durch Frachtträger eingetragene Chlorfracht bei 72%.

4.10 Begleitelemente

Die Analytik der Begleitelemente erfolgte ebenfalls auf der Ebene der Sortierfraktionen. Die angege-benen Werte beziehen sich auf die Trockensub-stanz. Im Gegensatz zu den Chlorwerten bleibt unklar, inwieweit die Probenmassen für das Errei-chen einer guten Aussagesicherheit wirklich aus-reichend waren. Die erforderlichen Probenmassen wären elementspezifisch zu ermitteln.

Als Vergleichsmaßstab werden die 80er Perzentile der RAL 724 herangezogen, für Kupfer mangels Verfügbarkeit das 50er Perzentil. In der Gesamt-übersicht zeigt sich, dass die an der x-Achse ange-gabenen Werte abgesehen von Vanadium und Kupfer von den meisten Vorprodukten mit weni-gen Ausnahmen deutlich unterschritten werden.

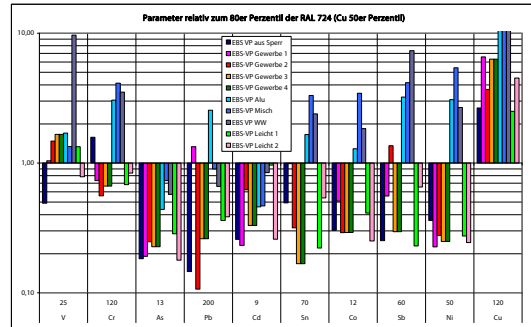


Abbildung 17: Schwermetallgehalte in EBS-Vorprodukten im Vergleich zu Perzentilen der RAL 724

Einzelne Überschreitungen gibt es für Vorprodukte aus Gewerbeabfall bei den Elementen Chrom, Blei und Antimon.

Die Fraktionen aus der Metallaufbereitung nehmen eine Sonderstellung ein. Hier weisen die Le-gierungselemente des Eisens erwartungsgemäß hohe Gehalte auf. Darüber hinaus ist bei diesen Fraktionen offensichtlich Antimon zu beachten. Blei und Cadmium spielen auch in diesen Fraktio-nen eine untergeordnete Rolle. Der Vergleich zu mittleren Schwermetallgehalten in Shredderleicht-fraktion zeigt auf, dass es sich hier in Anbetracht der Herkunft bereits um vergleichsweise schad-stoffarme Fraktionen handelt:

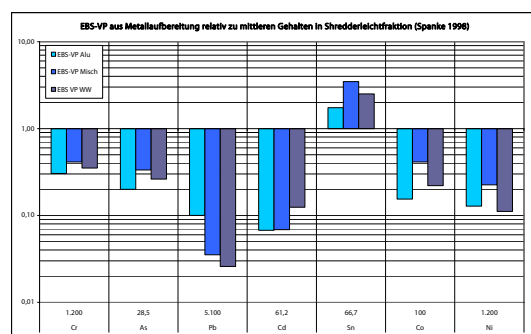


Abbildung 18: Schwermetallgehalte in Relation zu Shredderleichtfraktion¹³

Bemerkenswert ist der ermittelte hohe Kupfergehalt aller Fraktionen. Auch ohne die Fraktionen aus

¹³ nach Spanke 1998

der Metallaufbereitung erreicht der analytisch ermittelte Kupfergehalt einen Mittelwert von 707 mg/kg Trockenmasse.

5 Diskussion

Mit dem artikelbezogenen Ansatz und der Durchführung von Sortieranalysen konnte den Zielsetzungen einer einheitlichen Probenahme und der validen Bestimmung von Störstoff- und Chlorgehalten für Materialien verschiedener Aufbereitungsebenen voll entsprochen werden.

Sortieranalysen ermöglichen mit der Erstellung von Stückmassenverteilungen und unter Einsatz angewandter statistischer Methoden die Ermittlung von Massengehalten als statistische Verteilungen mit zugehörigen Vertrauensbereichen.

Die analytische Bestimmung von Chlor bedarf für eine aussagesichere Bestimmung großer Probenmassen, die je nach Frachtträgergehalt bis zu 100 kg umfassen. Die aliquote Aufbereitung dieser Probenmassen bis zu einer Analysenprobe von 2 bis 5 Gramm ist aufwändig und birgt das Risiko systematischer Fehler. Darüber führt die Analytik selbst bei identischem, fein vermahlenem Probenmaterial zum Teil auf stark divergierende Ergebnisse.

Durch Sortieranalysen können die Fehler in der Probenaufbereitung und Analytik vermieden werden. Für die kontinuierliche Qualitätssicherung bietet es sich an, analytische Untersuchungen auf ein Mindestmaß zu reduzieren. Für orientierende Untersuchungen kann sogar gänzlich darauf verzichtet werden.

Die Chlorgehalte in EBS-Vorprodukten liegen im Mittel oberhalb von 2%. In Einzelfällen können Werte von 5% und mehr gefunden werden. Dabei sind die Frachtanteile aus den Fraktionen < 15 mm, Organik und NFT gering. Durch eine effektive Erkennung und Abreicherung der Chlorfrachtträger kann mindestens 50% im Mittel 72% und in Einzelfällen sogar 90% der Chlorfracht erreicht werden. Die Abreicherung von PVC ist insbesondere für Ersatzbrennstoffe aus Bau- und Gewerbeabfällen angezeigt.

Die Fe-Metallgehalte in EBS-Vorprodukten liegen zwischen 1 und 3,5 Gew%, NE-Metallgehalte liegen unter 2 Gew%. Mineralische Partikeln können auf

der Vorproduktebene Massengehalte von 10% und mehr erreichen.

Literatur

- Bilitewski 2007: Bilitewski, B.; Schirmer, M.; Hoffmann, G.: Klassierung reicht nicht. In: Müllmagazin 3/2007, Seite 14 f
- Bonner, Viertel 2007: Herstellung und Verwertung von Ersatzbrennstoffen unter besonderer Berücksichtigung des Werkstoffes PVC. Studienarbeit an der FH Köln unter Co-Betreuung der AGPU
http://www.agpu.de/fileadmin/user_upload/diplomarbeiten/StudienarbeitPVC_Endfassung3.pdf
- Ketelhut 2004: Schadstoffentfrachtung und Qualitätssicherung heizwertreicher Abfälle - Abschlussbericht. Neumünster: 21. Dezember 2004
- Ketelhut 2005: Abfälle sauber definieren Vortrag auf der 11. Freiburger Probenahmetagung
- Ketelhut 2006: Abfälle sauber definieren Teil I: physikalische Parameter In: Müll und Abfall 1/2006, Seite 35 ff
- Ketelhut 2006 a: Abfälle sauber definieren Teil II: chemische Parameter In: Müll und Abfall 2/2006, Seite 84ff
- Ketelhut 2006 b: Fortschritte bei Probenahme und Qualitätssicherung von Abfällen. Vortrag auf der 12. Freiburger Probenahmetagung . Freiberg: 4. November 2006
- Ketelhut 2007: Sortieranalysen zur Qualitätssicherung von Abfällen. In: Eckstedt, H. (Hrsg.) 10. Dialog Abfallwirtschaft MV, 12. Juni 2007 in Rostock, Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Rostock, 2007, Seite 45ff
- LfU 2003: Bayerisches Landesamt für Umwelt [Hrsg]: Zusammensetzung und Schadstoffgehalte von Siedlungsabfällen, Augsburg: 2003
[http://www.abfallratgeber-bayern.de/arba/allglfu.nsf/44CC5F699519542EC1256EB4002C9874/\\$file/zus_schad_siedabf.pdf](http://www.abfallratgeber-bayern.de/arba/allglfu.nsf/44CC5F699519542EC1256EB4002C9874/$file/zus_schad_siedabf.pdf)
- LfUG 1998: Richtlinie zur einheitlichen Abfallanalytik in Sachsen Teile I, II und III: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie. April 1998
<http://www.umwelt.sachsen.de/de/wu/umwelt/lfug/lfug-internet/SabfaWeb/sabfaweb-nt/>

RAL 2003: Probenahme-, Probenaufbereitungs- und Analysenvorschriften für Sekundärbrennstoffe im Rahmen des RAL-Gütezeichens Sekundärbrennstoffe Stand: November 2003. Berlin RAL

Schirmer 2007: Ersatzbrennstoffe und Chlor – ein noch immer ungelöstes Problem. In: Faulstich, M.; Urban, A. I.; Bilitewski B. (Hrsg.): 12. Fachtagung Thermische Abfallbehandlung Schriftenreihe des Fachgebietes Abfalltechnik Universität Kassel, Seite 186 ff

Spanke 1998: Aufbereitung der Shredderleichtfraktion aus der Altautoverwertung. In: EntsorgungsPraxis 16 (1998) Heft 5, Seite 26ff

Wilker 2006: Systemoptimierung in der Praxis, Teil 1 – Leitfaden zur statistischen Versuchsauswertung. Norderstedt: Books on Demand, 2006