

Neue Methode zur Beprobung von Abfällen in Ballen

Martin Wellacher, Alexia Aldrian, Roland Pomberger

Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft, Montanuniversität Leoben, Österreich

Key-Words: Sampling, plastic recycling, bale, drilling

1 EINLEITUNG

Zu Ballen verdichtete Materialien sind eine industrielle Packungsform um Lagerung und Transport derselben zu erleichtern. In der Abfall- und Recyclingwirtschaft wird die Verdichtung von Abfällen mit Ballenpressen standardmäßig angewendet, insbesondere zur Verdichtung spezifisch leichter Schüttgüter, mit dem Zweck der Lagerung und des Transportes vor einer stofflichen oder energetischen Verwertung. Ballenpressen sind weltweit Bestandteil nahezu jeder Sortieranlage.

Typische zu Ballen verdichtete Recycling-Materialien sind Papier, Karton und sortierte Kunststofffraktionen (LDPE, HDPE, PET, PP, PS). Typische Ballen mit Abfällen zur energetischen Verwertung sind Restabfall, Leichtfraktion aus dem Splitting oder die Mischkunststofffraktion aus der Sortierung von Verpackungsabfällen.

Sortierte und gemischte Kunststoffe aus der Verpackungssammlung haben eine Schüttdichte zwischen 50 und 150 kg/m³. Ein Transport, z.B. in Walking-Floor-LKWs, ist ab etwa 230 kg/m³ wirtschaftlich, da dann das Ladegewicht maximal ausgenutzt werden kann. Mit Ballenpressen werden Materialdichten von 300-600 kg/m³ erzielt.

Die Kunststoff-Recyclingquote der EU beträgt 26 % der gesammelten Kunststoffabfälle, das bedeutet eine Menge von 6,6 Mio. t/a (PlasticsEurope 2014). Es ist anzunehmen, dass der überwiegende Teil dieser Recycling-Kunststoffe in Ballen verpackt wird. Beispielsweise nehmen Recyclingunternehmen von PET-Flaschen ihre Inputstoffe grundsätzlich in Ballen an (z.B. die PET to PET Recycling Österreich GmbH, Müllendorf, oder Kruschitz GmbH, Völkermarkt).

In Ballenpressen verdichtete Materialien werden zum Erhalt der Packungsdichte mit Drähten oder Schnüren gebunden. Einige Unternehmen wickeln die Ballen zusätzlich in Folie.

Die Prüfung von Abfällen und Recyclingmaterialien ermöglicht begründete Entscheidungen über deren nachfolgende Handhabung und Verwendung. Um eine Analyse an diesen Materialien durchzuführen, ist eine Probe des Materials erforderlich. Von der Probenahme, der Probenvorbereitung und der Analyse (vor Ort oder im Labor) ist es abhängig, ob die Ziele der Prüfung ordnungsgemäß umgesetzt werden.

Bei der Qualitätsbeurteilung von Materialgemischen durch Analysen gibt es Fehlerquellen. Die größten liegen bei der Probenahme und weniger bei der Probenvorbereitung oder der Analyse. Durch die naturgegebene Heterogenität von Abfällen und Recyclingmaterialien werden Probenahmefehler noch verstärkt. Die Bedeutung von Probenahme, Probenaufbereitung und Analyse hinsichtlich dem Wahrheitsgehalt der Prüfung liegt laut Burvall et al. (2010) bei 80:15:5. Durch Probenahmefehler verursachte Abweichungen des Messwertes vom tatsächlichen Wert betragen oft weit über 1000 % (Iordanopoulos-Kisser & Ramer 2010). Aus diesem Grund ist eine möglichst repräsentative Probenahme für die Prüfung eines Abfalls oder Recyclingmaterials von besonderer Bedeutung.

Die österreichische Deponieverordnung (Bundesgesetz 2008) berechnet die Probenahmemege nach der Faustformel

Probemenge einer Stichprobe [kg] = 0,06 x Größtkorn (95 % Perzentil) [mm]

Dieselbe Faustformel ist auch in der ÖNORM S 2127 zu finden (ASI 2011a).

Aus dieser Formel ergibt sich bei einer Größtkorn-Abmessung von 500 mm eine Stichprobenmenge von 30 kg.

Ausgehend von einem Beurteilungsmaßstab von 200 t Abfall sind zwei qualifizierte Stichproben zu entnehmen. Jede qualifizierte Stichprobe besteht wiederum aus mindestens zehn Stichproben. Damit ergibt sich ein Probengesamtgewicht von 600 kg. Für eine Laborprobe ist das zu viel.

Solche Probenmengen werden daher zum Zweck der Verjüngung zerkleinert. Handelsübliche Zerkleinerer für die beschriebene Menge erreichen bei noch akzeptablem Zerkleinerungsaufwand ein Größtkorn von 10-50 mm. Das erlaubt eine Stichprobenmenge von 0,6-3 kg und eine Gesamtprobenmenge von 20-60 kg. Derartige Zerkleinerungsanlagen erfordern eine Investition in der Höhe von € 90.000 (Lindner 2014) und verursachen hohe Betriebskosten für den Betreiber.

Nach einer Zerkleinerung erfolgt eine Sub-Probenahme aus dem zerkleinertem Materialstrom entsprechend der Korngröße. Geht man von einem $d_{95} = 30$ mm aus, entnimmt man 20 Stichproben zu je 1,8 kg, woraus sich zwei qualifizierte Stichproben zu je 18 kg ergeben. Diese Menge lässt sich gut im Labor weiter für die Analyse vorbereiten.

Die EN 15442 „Feste Sekundärbrennstoffe – Verfahren zur Probenahme“ (CEN 2011) definiert den Mindestumfang einer Probe mit der folgenden Formel:

$$m_m = \frac{\pi}{6 \times 10^9} \times d_{95}^3 \times f \times \lambda \times g \times \frac{(1-p)}{(cv)^2 \times p}$$

Ohne die einzelnen Variablen hier näher zu erläutern, kann auch diese Norm als ein Anhalt für die Bestimmung von Probenmengen herangezogen werden, da bei festen Sekundärbrennstoffen auch grobstückige Abfallmaterialien vorkommen.

Setzt man für die Variablen entsprechende Werte der Abfälle in Mischkunststoffballen ein, so ergibt sich ein Wert für m_m von 442 kg ($d_{95}^3 = 5003$, $f = 0,12$, $\lambda = 250$, $g = 0,25$, $p = 0,1$, $cv = 0,1$). Damit gelangt man in dieselbe Größenordnung wie Bundesgesetz 2008.

In weiterer Folge werden diese beiden Methoden als Stand der Technik bezeichnet.

Die Idee zum Projekt baute auf einer Methode zur Analyse von Ersatzbrennstoffen auf (Schade-Dannewitz & Poerschke 2008 und 2012).

2 ZIEL DES PROJEKTES

Ziel des Projektes war es, eine Methode zur repräsentativen Probenahme aus Ballen zu entwickeln und zu testen. Derzeit ist eine repräsentative Probenahme von Ballen nur nach Auflösung dieser Ballen erreichbar.

Die Methode sollte für Materialien mit Korngrößen von > 100 mm geeignet sein.

Das Verbesserungspotential einer möglichen neuen Methode gegenüber dem Stand der Technik liegt einerseits in der Reduktion des Aufwandes an Personal, Material und Zeit und andererseits in einer Verbesserung der Repräsentativität.

3 METHODE

Um den Stand der Technik hinsichtlich seiner Repräsentativität zu beurteilen, wurde ein Dotierungsstoff gesucht. Dieser Stoff sollte in der Mischkunststofffraktion in niedriger Konzentration vorliegen, nicht toxisch oder gefährlich und preisgünstig sein. Die Wahl fiel auf Molybdän. Als Molybdänsulfid (MoS_2) wurde es in eine Polyethylen-Folie homogen eingebunden und vor der Ballierung in definierter Menge der Mischkunststofffraktion zugegeben. Gleichzeitig wurde bei einem danach ballierten aber nicht-dotierten Material der Molybdän-Hintergrundgehalt ge-

messen. Auf diese Weise konnte über die Probenahme, Probenvorbereitung und Analyse des Molybdängehaltes im Vergleich mit dem über die Dotierung bekannten Molybdängehalt über die Bestimmung der Standardabweichung und des Bias die Repräsentativität der Probenahme nach dem Stand der Technik und der neuen Methode bestimmt werden.

Bei der Ballierung wurden insgesamt 7.700 g Molybdänfolie zu dem zu beprobenden Ballen vor der Ballierung zugegeben. Die Hintergrund-Belastung von Molybdän im Material lag unter der Nachweisgrenze der verwendeten Analytik (<2,5 mg/kg Trockensubstanz). Durch die Dotierung ergab sich ein Molybdängehalt von 967 mg/kg Trockensubstanz.

Der dotierte Ballen stellte somit die zu beprobende Partie dar. Er wies ein Gesamtgewicht von 654 kg auf.

Die Probenmenge wurde entsprechend dem Größtkorn (d_{95} geschätzt) mit 600 kg bestimmt. Das entsprach etwa dem gesamten dotierten Ballen.

Zur Probenahme wurde die Ballenverdrahtung aufgelöst und das Material in zwei Hälften (für zwei qualifizierte Stichproben) zu je 300 kg aufgeteilt und einer Zerkleinerung auf 30 mm Größtkorn (d_{95} geschätzt) zugeführt. Diese neuen Größtkorn-Abmessung erlaubte eine Probenverjüngung: Die Stichprobenmenge betrug nun 1,8 kg, die Menge der qualifizierten Stichprobe 18 kg und die Gesamtprobenmenge 36 kg.

Es wurden die qualifizierten Stichproben gemessen und der Mittelwert gebildet. Zusätzlich wurde jede der 20 Stichproben einzeln vorbereitet und analysiert.

Nach der Probenahme wurden die Proben zur Probenvorbereitung im Labor bei 105 °C getrocknet, mit einer Schneidmühle auf 1 mm zerkleinert und dann durch Viertelteilung auf die Prüfmenge verjüngt. Diese wurde einem Totalaufschluss unterzogen und mittels ICP-MS auf Molybdän analysiert. Folgende Bestimmungsmethoden wurden angewendet: Organikgehalt (ASI 2007), Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Sb, V und Zn (ASI 2011b), Chlor (ASI 2011c) und Heizwert (ASI 2011d).

Für die Probenahme nach dem Stand der Technik wurden die Kosten bestimmt. Für den Zerkleinerer wurde ein Angebot eingeholt (Lindner 2014). Die Kosten für Personal, Gabelstapler und Hallenanteil wurden in Absprache mit Entsorgungsunternehmen geschätzt. Die Betriebskosten für den dazu benötigten Zerkleinerer betragen 90 €/t (siehe Tabelle 1). Dabei wurde von der Häufigkeit von einer Probenahme pro Woche ausgegangen. Über den Zeit- und Personalaufwand im Zuge der Probenahme wurden die Gesamtkosten der Probenahme errechnet.

Tabelle 1: Betriebskostenberechnung für den Stand der Technik

AUSLEGUNGSDATEN						
Invest		90.000	€ Zerkleinerer, Förderband und Aufstellungshalle			
Probenahmen pro Jahr		52				
Betriebsstunden		208	h/a			
Kapitalverzinsung		1,5%				
KOSTEN						
Kapitalrückzahlung			Invest	Abschreibungszeit	Abschreibung/Jahr	Zinsen/ Jahr
Bauteil und Anlagen			90.000	15	6.000	745
						6.745 €/a
SUMME FIXKOSTEN						6.745 €/a
Betriebsmittel						
	Strom		6.178 kWh/a		0,12 €/kWh	741 €/a
	Förderband		412 kWh/a			49 €/a
	Bedienpersonal		35 €/h			7.280 €/a
Verschleiß, Service und Wartung			Zerkleinerer und Förderband		4 % vom Invest	3.400 €/a
			Halle		2 % vom Invest	100 €/a
Sonstiges			Verwaltung und Versicherung		0,4% vom Invest	360 €/a
SUMME VARIABLE KOSTEN						11.931 €/a
SUMME BETRIEBSKOSTEN						18.676 €/a
Die Betriebsstunde vom Zerkleinerer kostet:						90 €/h

Es wurden vier neue Beprobungsmethoden getestet:

- 1) Bohrung mit Sägezahnkrone und Zentrierbohrer (siehe Abbildung 1)
- 2) Bohrung mit Spiralbohrer (siehe Abbildung 2)
- 3) Kettensäge (siehe Abbildung 3)
- 4) Bohrung mit Betonkernbohrer (siehe Abbildung 6)



Abbildung 1: Beprobungsmethode mit Bohrer mit Sägezahnkrone und Zentrierbohrer



Abbildung 2: Beprobungsmethode mit Spiralbohrer



Abbildung 3: Beprobungsmethode mit Kettensäge

4 ERGEBNISSE

Die Beprobung nach dem **Stand der Technik** erfolgte problemlos. Um zwei qualifizierte Stichproben zu erhalten wurde eine Zerkleinerungszeit von vier Stunden benötigt, die Zeit für die eigentliche Probenahme inkludiert. Die wirtschaftliche Berechnung ergab Betriebskosten von € 360 pro Probenahme (vergleiche Tabelle 1).

Die Auswertung der einzelnen Stichproben zeigte, dass im verwendeten Zerkleinerer eine Entmischung von Folien und Restmaterial des Mischkunststoffballens stattgefunden hatte. Der Verlauf der Molybdänkonzentrationen über die Beprobungszeit zeigte, dass die meisten Folien am Anfang eingezogen und zerkleinert wurden (siehe Abbildung 4).

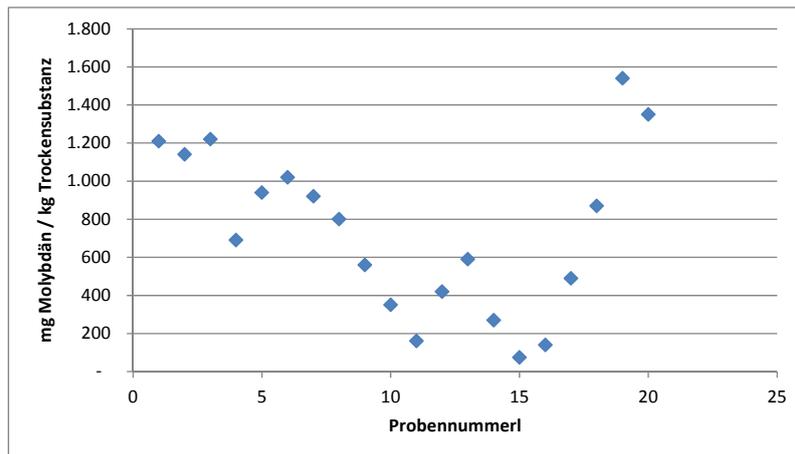


Abbildung 4: Molybdänkonzentration in 20 Stichproben, die nach dem Stand der Technik entnommen wurden (nach der Zerkleinerung auf 30 mm).

Unter den getesteten **Beprobungsmethoden** hat sich das Bohren mit einem Betonkernbohrer als beste Lösung erwiesen. Der Schaft mit Sägezahnkrone war nur in kurzen Längen verfügbar, sodass das Probenvolumen zu gering war. Außerdem hätte die Verschleißfestigkeit der Sägezahnsschneide den im Verlauf der nachfolgenden Versuche gefundenen harten Störstoffen nicht standgehalten (siehe Abbildung 5). Mit dem Spiralbohrer konnte keine Probe gewonnen werden, da praktisch kein Bohrklein entstand, weil das Material aus dem Gefüge nicht abgetrennt werden konnte. Die Kettensäge produzierte wenig Bohrklein, weil das Material nur unvollständig aus dem Ballen herausgelöst werden konnte. Außerdem war die Bedienung kraftaufwendig.



Abbildung 5: Mittels Betonkernbohrer zweimal angebohrtes Aluprofil als massiver Störstoff in einem Mischkunststoffballen.

Ein **Konzeptprototyp** wurde entwickelt. Ausgehend von einem handelsüblichen Betonkernbohrgerät bestand dieser aus Bohrmotor, Bohrschaft mit Zackenkrone, Stativ, Montageplatte und zwei Zurrgurten (siehe Abbildung 6). So wurde eine neue Beprobungsmethode entwickelt, die im Weiteren als „**Direkte Ballenbeprobung**“ bezeichnet wird.



Abbildung 6: Betonkernbohrer als Konzeptprototyp für die Direkte Ballenbeprobung.

Für eine akzeptable **Durchführung** der Probenahme kommt der Schneidkrone des Bohrschaftes die Hauptbedeutung zu. Diese musste das Material zuverlässig schneiden und robust gegen Störstoffe sein. Die Turmzackenkrone als Standardkrone für Betonbohrungen hat sich bewährt. Nur bei extremen Belastungen kam es zum Abbrechen einzelner Zähne. Der Verschleiß betrug $12 \mu\text{m}/\text{Bohrung}$ (nach 85 Bohrungen), das liegt unter dem Wert für die Anwendung in Beton. Die benötigte Kraft des Bohrmotors ist im Wesentlichen durch die Schneidwirkung der Bohrschaftkrone und im Weiteren durch die Reibung von Krone und Schaft bestimmt. Letztere nimmt mit der Eindringtiefe zu. Schneidwirkung und Reibung sind naturgemäß auch materialabhängig, sowohl von der Ballenzusammensetzung als auch vom Bohrschaftmaterial. Das Bohrschaftmaterial war im Versuchsaufbau nicht variabel. Verschiedene Ballen-Materialien zeigten unterschiedliche Vorschubzeiten von bis zu drei Minuten und z.T. konnte mit der gewählten Bohrmotorleistung von 3,3 kW nicht die volle Schaftlänge von 500 mm vorgeschoben werden. Einfach zu bohrende Materialien waren Karton, PET oder HD-PE, schwieriger zu bohrende Materialien waren weißes Papier, LD-PE oder Ziehfolien, das sind Spezialkunststoffabfälle aus der Automobilherstellung.

Das Bohren entlang der **Pressrichtung** des Ballens war vorteilhafter als quer zur Pressrichtung, da mehr Probengewicht und ein Probenkorn mit einem geringeren Durchmesser erzielt werden konnte (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Probengewichte und maximale Korngrößen bei verschiedener Bohrrichtung und verschiedenen Bohrerdurchmessern.

Bohrrichtung	Bohrerinnen-durchmesser [mm]	Probengewicht [g]	Maximale Korngröße [mm]
Quer zur Pressrichtung	95	598	197
	65	431	163
Entlang der Pressrichtung	95	628	93
	65	419	57

Die **Temperatur** am Bohrschaft war materialspezifisch und lag im Bereich von $70 \text{ }^\circ\text{C}$ bis $130 \text{ }^\circ\text{C}$. Manchmal wurden Verschmelzungen von weniger temperaturbeständigen Kunststoffen ver-

ursacht. Bei einer Bohrung in einen Ballen aus PP-Recyclingmaterial konnte ohne Kühlung nur mehr ein äußerlich völlig verschmolzener Bohrzylinder aus dem Bohrschaft gezogen werden. Die Wärmeentwicklung am Bohrschaft wird von der Reibung von Krone, Schaft und Material, dem Wassergehalt im Material und der Wärmekapazität des Materials bestimmt. Außerdem kann durch eine manuelle oder automatisierte Wasserkühlung am Bohrschaft die Temperatur abgesenkt werden.

Die gewählten **Abmessungen** des Bohrschaftes betragen 100 mm Durchmesser und 500 mm Länge. Damit konnten 0,5-2 kg Bohrklein als Einzelprobe gewonnen werden, das einerseits durch heftiges Schlagen auf ein Holzbrett herausgeklopft und andererseits manuell aus dem Schaft herausgezogen werden musste (siehe Abbildung 7). Bei geringeren Durchmessern war das Entnehmen der Probe schwieriger und dauerte länger. Außerdem war das Gewicht der Einzelprobe geringer (siehe Tabelle 2), wodurch für die gewünschte Gesamtprobenmenge von 20-30 kg mehr Bohrungen benötigt wurden. Kürzere Schaftlängen ergaben ebenfalls weniger Einzelprobenvolumen. Längere Bohrschafte sind bei den üblichen Schneidstärken von 2 mm aus Stabilitätsgründen nicht verfügbar. Verlängerungen mit Vollmetallstäben sind möglich, die Anwendung ist aber bei Kunststoffballen nicht möglich, weil durch die Elastizität des Materials das Bohrloch beim Herausziehen des Bohrschaftes zum ersten Entleeren teilweise wieder zugeht und nach dem Anbringen der Verlängerung die Stativhöhe nicht ausreicht Bohrschaft und Verlängerung neu anzusetzen.



Abbildung 7: Bohrklein einer Einzelprobe mit Bohrschaft als Ergebnis der Direkten Ballenbeprobung

Der **Aufwand** der Direkten Ballenbeprobung im Vergleich zum Stand der Technik betrug für dieselbe Labor-Probenmenge von 20-30 kg vier Stunden Zeit. Die wirtschaftliche Berechnung ergab Betriebskosten von € 160 pro Probenahme (siehe Tabelle 3). Damit ist der Aufwand geringer als beim Stand der Technik (€ 360).

Tabelle 3: Betriebskostenkalkulation für die Direkte Ballenbeprobung

AUSLEGUNGSDATEN							
Invest		3.500	€				
Durchsatz		12	min/Bohrung				
Bohrungen pro Probenahme		20	Bohrungen pro Probenahme				
Probenahmen pro Jahr		52					
Betriebsstunden		208	h/a				
Bohrungen pro Jahr		1.040	Bohrungen pro Jahr				
Kapitalverzinsung		1,5%					
KOSTEN							
Kapitalrückzahlung		Invest	Abschreibungszeit	Abschreibung/Jahr	Zinsen/ Jahr	Annuität pro Jahr	
Bauteil und Anlagen		3.500	5	700	32	732	€/a
						SUMME FIXKOSTEN	732 €/a
Betriebsmittel	Strom	453	kWh/a	0,12	€/kWh	54	€/a
	Bedienpersonal	35	€/h			7.280	€/a
Verschleiß, Service und Wartung				4 % vom Invest		140	€/a
Sonstiges	Verwaltung und Versicherung			0,4% vom Invest		14	€/a
						SUMME VARIABLE KOSTEN	7.488 €/a
						SUMME BETRIEBSKOSTEN	8.220 €/a
Die Betriebsstunde kostet:						40	€/h
Nutzungszeit pro Probenahme		4,0	h	160	€/Betriebskosten Beprobungsgeräte		
				160	€/Probenahme		

Die Standardabweichungen der beiden untersuchten Beprobungsmethoden Stand der Technik und Direkte Ballenbeprobung sind für zahlreiche Parameter in Tabelle 4 dargestellt. Für das dotierte Molybdän betragen sie 60 % für den Stand der Technik und 367 % für die Direkte Ballenbeprobung. Bei der überwiegenden Zahl der anderen Parameter zeigt die Direkte Ballenbeprobung eine geringere Standardabweichung als der Stand der Technik. Die Bias für Molybdän der beiden Methoden betragen für den Stand der Technik 15 % vom wahren Wert und für die Direkte Ballenbeprobung 24 % vom wahren Wert.

Messparameter	Standardabweichung in % vom Mittelwert	
	Stand der Technik	Direkte Ballenbeprobung
Heizwert	10	5
Trockensubstanz	3	4
Organikgehalt	2	2
Chrom	172	46
Eisen	120	45
Kobalt	91	37
Nickel	95	71
Zink	137	48
Cadmium	128	11
Antimon	80	73
Blei	90	72
Chlor	72	55
Vanadium	88	150
Molybdän	60	367
Kupfer	199	41

Tabelle 4: Standardabweichung in % vom Mittelwert bei den beiden Beprobungsmethoden für Ballen (jeweils 20 Stichproben).

5 SCHLUSSFOLGERUNG, ZUSAMMENFASSUNG

Eine neue Methode zur Beprobung von Abfällen in Ballen konnte entwickelt und mittels eines Konzeptprototypen demonstriert werden. Damit waren erste statistische Vergleiche mit dem Stand der Technik möglich.

In der dargestellten Arbeit konnte gezeigt werden, dass bei selber Stichprobenanzahl und selbem Probengewicht der Aufwand der Direkten Ballenbeprobung geringer ist als beim Stand der Technik. Durch die Kombination von Entnahme und Zerkleinerung hat die gesamte Probenahme einen Schritt weniger als der Stand der Technik (siehe Abbildung 8). Dadurch ist der Zeitaufwand zwar derselbe wie bei der Beprobung nach dem Stand der Technik, nämlich vier Stunden, die Kosten dagegen aber geringer.

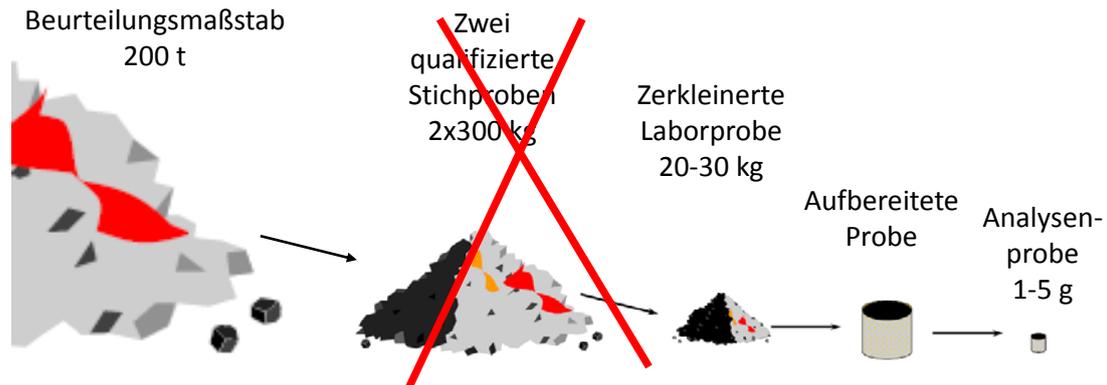


Abbildung 8: Bei der Direkten Ballenbeprobung fällt bei der Probenahme ein Aufbereitungsschritt weg.

Die Messung von dotierten Ballen mit beiden Methoden zeigte, dass der Stand der Technik der Direkten Ballenbeprobung überlegen ist. Die Dotierung brachte offenbar eine sehr inhomogene Verteilung der Molybdänfolien, sodass für einen derart verteilten Parameter die Methode des Standes der Technik der Direkten Ballenbeprobung überlegen ist. Beim Bias waren die Werte beider Methoden ähnlicher. Bei nicht dotierten Parametern zeigte die Direkte Ballenbeprobung bei den meisten Parametern eine geringere Standardabweichung.

Der Stand der Technik gibt für eine repräsentative Probenahme eine Stichprobenanzahl und ein von der Geometrie abhängiges Probengewicht an. Das ist aber ein Zugeständnis an die großen Schwierigkeiten, die sich dem Wissenschaftler bei der Untersuchung von grobstückigen heterogenen Abfällen stellen. Meist ist der von der Bedeutung der Fragestellung abhängige zulässige Aufwand für die Analyse schnell überstiegen und der Wissenschaftler hat sich mit einer hinsichtlich der Aussagekraft der Messwerte ungenügenden Genauigkeit abzufinden. Abfälle haben selten das wirtschaftliche Potential, das einen hohen Aufwand zur Materialanalyse rechtfertigt. Auch für Recyclingmaterialien gilt das, trotzdem sie bereits durch die Vorsortierung eine höhere Homogenität aufweisen, wodurch die Messgenauigkeit besser wird, und inzwischen oft Erlöse erzielen, wodurch der Messaufwand steigen darf.

Die Stichprobenanzahl und das Probengewicht sind aber abhängig von der Verteilung des zu messenden Parameters in der Probenmatrix und von der angestrebten Messgenauigkeit für diesen Parameter. Und in Abfällen sind viele zu messende Parameter ungleich homogen verteilt. Beispielsweise ist in Mischkunststoffabfällen der Heizwert homogener verteilt als der Gehalt von Kupfer oder Molybdän (siehe Tabelle 4).

Der Aufwand für jede Art der Beprobung muss aber beides berücksichtigen. Erst wenn man die Verteilung des zu messenden Parameters kennt, kann man die maximal mögliche Messgenauigkeit errechnen und dann entsprechend des gewählten oder zulässigen Aufwandes die Stichprobenanzahl und das Probengewicht festlegen. Einen Versuch dazu haben Aldrian et al. (2015) unternommen. Darin zeigte sich ein differenziertes Bild je nach betrachtetem Messparameter.

Durch die Möglichkeit der Direkten Ballenbeprobung mehrere Einzelproben an verschiedenen Stellen im Ballen zu entnehmen, kann die Verteilung einzelner Parameter besser bestimmt werden als mit dem Stand der Technik.

Im Zuge der Recherche nach Beprobungsmethoden für Recycling-Ballen wurde auch ein Verfahren der Recycling-Papier-Aufbereiter gefunden, in welchem Ballen automatisch angebohrt werden, um Wasser, Asche, Kunststoffe und Fasern zu messen (Papiertechnische Stiftung 2015). Ein Papierballen wird in eine Vorrichtung eingebracht, woraufhin mit einem Spiralbohrer ein Loch gebohrt wird, in welches eine Messlanze zur Online-Messung mittels Nahinfrarot-Sensortechnik eingeführt wird.

Bei der Probenaufbereitung beeinflussen Homogenisieren und Einengen die Messgenauigkeit wohl am meisten. Daher ist auf mögliche Entmischungen zu achten. Die im Zuge der Beprobung nach dem Stand der Technik festgestellte Entmischung des Materials bei der Zerkleinerung ist ein Beispiel für die Problematik bei der Probenaufbereitung von grobstückigen heterogenen Abfallmaterialien. Als Ursache für dieses Phänomen wird die Geometrie und das spezifische Gewicht der Molybdänfolien im Bezug zu den Eigenschaften der anderen Materialien vermutet. Die Autoren nehmen an, dass in Ballenpressen im Zuge der Ballenherstellung ebenso Entmischungen stattfinden und damit auch zugegebenen Dotierungsmaterialien betreffen. Zukünftige Untersuchungen werden diese Annahmen berücksichtigen.

Da der Bohrkronen die wesentliche Funktion bei der Bohrung zukommt und bisher mit einer Standardkronen für Beton gearbeitet wurde, ist anzunehmen, dass andere Schneidgeometrien und andere Stähle Fortschritte hinsichtlich eines schnelleren und kraftsparenderen Bohrvorschubes bringen könnten, z.B. für schwierige und besonders störstoffbehaftete Materialien. Auch eine Steigerung der Antriebskraft des Bohrmotors ist zu überlegen. Diese Vorhaben werden Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.

LITERATUR

- Aldrian, A., Wellacher, M. & Pomberger, R. (2015) *Development and validation of a new direct sampling method for coarse mono- and mixed waste fractions bound in bales*. International Journal of Environmental Analytical Chemistry; <http://dx.doi.org/10.1080/03067319.2015.1115864>
- ASI (Austrian Standards Institute) (2007). *ÖNORM EN 15169 Characterization of waste – Determination of loss on ignition in waste, sludge and sediments*. Austrian Standards Institute, Wien, Österreich.
- ASI (Austrian Standards Institute) (2011a) *ÖNORM S 2127 Grundlegende Charakterisierung von Abfallhaufen oder festen Abfällen aus Behältnissen und Transportfahrzeugen*. Austrian Standards Institute, Wien, Österreich.
- ASI (Austrian Standards Institute) (2011b) *ÖNORM EN 15411 Solid recovered fuels – Methods for the determination of the content of trace elements (As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Tl, V and Zn)*. Austrian Standards Institute, Wien, Österreich.
- ASI (Austrian Standards Institute) (2011c) *ÖNORM EN 15408 Solid recovered fuels – Methods for the determination of sulphur (S), chlorine (Cl), fluorine (F) and bromine (Br) content*. Austrian Standards Institute, Wien, Österreich.
- ASI (Austrian Standards Institute) (2011d). *ONORM EN 15400 Solid recovered fuels – Determination of calorific value*. Austrian Standards Institute, Wien, Österreich.
- Bundesgesetz (2008) *Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Deponien (DVO 2008) idgF*. Bundesgesetzblatt II 39/2008
- Burvall, J., Wiik, C. & Englisch, M. (2010) *Probenahme und Probenteilung von festen Biomassebrennstoffen. Präsentation im EU-Forschungsprojekt Phydades*. OFI Technologie & Innovation GmbH, 1030 Wien.
- CEN (Comité Européen de Normalisation) (2011) *ÖNORM/EN 15442 Feste Sekundärbrennstoffe – Verfahren zur Probenahme*. Europäisches Komitee für Normung, Brüssel, Belgien.
- Iordanopoulos-Kisser, M. & Ramer, A. (2010) *Erfahrungen mit der Umsetzung der Deponieverordnung 2008*. In: DepoTech 2010 Abfallwirtschaft, Abfalltechnik, Deponietechnik und Altlasten, Tagungsband 10. DepoTech-Konferenz, 3.-5. November 2010, Leoben.
- Lindner (2014) *Richtpreisangebot für einen Antares 1300*. E-Mail-Information vom 12.05.2014 der Lindner Recyclingtech GmbH, Spittal/Drau.

- Papiertechnische Stiftung (2015) *Fast on-site checking of recovered paper bales*. Video im Internet unter <http://www.ptspaper.com/services/measuring-and-testing/new-measuring-technique/paperbalesensor/>, abgerufen am 05.02.2015.
- PlasticsEurope (2014) *Plastics – the Facts 2014 – An analysis of european plastics productions, demand and waste data*. Avenue E. van Nieuwenhuysse 4/3, Brussels, Belgium. Download von www.plasticseurope.org am 15.01.2015.
- Schade-Dannewitz, S. & Poerschke, J. (2008) *Patent DE 10 2007 021 145, Verfahren zur Gewinnung von Analysenproben aus einem heterogenen Schüttgut geringer Dichte*.
- Schade-Dannewitz, S. & Poerschke, J. (2012) *Repräsentative Chlorbestimmung von Sekundärbrennstoffen durch Anwendung der Pressbohrmethode*. Berg- und Hüttenmännische Monatshefte Vol. 157,; pp 244-249

DANKSAGUNG

Dieses Projekt konnte mit der Unterstützung der ARA Altstoff Recycling Austria AG aus Wien, realisiert werden. Die Montanuniversität Leoben dankt ihren Kooperationspartnern Saubermacher Dienstleistung AG aus Unterpremstätten und der Husqvarna Austria GmbH aus Linz.