

Christian Borowski, M.Eng. (HSN), Prof. Dr. rer. nat. Jürgen Poerschke (HSN), Prof. Dr.-Ing. Daniel Goldmann (TU Clausthal Dirk Barnstedt (Schulz & Berger Luft- und Verfahrenstechnik GmbH, Altenburg/Thüringen)

Erhöhung der Repräsentativität von Proben durch zufällige Volumenelemententnahmen aus Wertstoffballen mit Hilfe der Ballenbeprobung

Abstract: Weltweit ist die Recyclingindustrie mit großen Herausforderungen konfrontiert. Der Markt für Sekundärrohstoffe steht durch die freien Kapazitäten in den Müllverbrennungsanlagen und dem günstigen Rohölpreis erheblich unter Druck. Damit ein hochwertiges Recycling durchgeführt werden kann, muss die Qualität der Input-/Outputströme mengen- und wertstoffreich sein. Stand der Technik zur Qualitätssicherung ist eine aufwendige, händische Sortierung von ca. 80 kg bis 100 kg aus dem Balleninneren. Jene willkürlichen Probenahmen sind nicht reproduzierbar und benötigen einen intensiven Zeit- und Mitarbeiterinsatz. Auffällige Lieferungen sind nicht mehr abweisbar, da das Material volumenvergrößert vorliegt oder bereits in den Produktionsprozess eingeschleust wurde. Dies führt zu hohen administrativen Aufwendungen. Mit Hilfe der zufälligen Volumenelemententnahmen aus Wertstoffballen soll u. a. die Repräsentativität der Probenahme erhöht und die Probemenge verringert werden. Die Entnahme von Proben erfolgt über einen Beprobungsapparat mit angeschlossenem Kernbohrer. Besonderer Fokus liegt dabei auf Sekundärbrennstoff- und Kunststoffballen.

1 Ist-Stand der Ballenbeprobung

1.1 Probenahme nach DKR-Richtlinien

Dem ausgewählten Ballen wird händisch eine Probe von 80 kg bis 100 kg entnommen. Diese Gewichtsangabe ist unabhängig vom Ballengewicht, welches zwischen 200 kg und 1000 kg liegen kann. Somit ist die Probenmenge nicht auf die Grundgesamtheit angepasst. Es ist nicht vorgeschrieben, an welcher Stelle des Ballens die Probe zu entnehmen ist. Ein gängiges Vorgehen ist die Entnahme der Masse aus der Mitte des aufgeschnittenen Wertstoffballens. Anschließend wird die Probe entsprechend der gültigen Spezifikation nach fraktionsgerechtem Anteil und den gelisteten Störstoffanteilen sortiert.

Bewertet werden die Proben anhand der Produktspezifikationen. Wenn der erste Ballen diesen nicht entspricht, so wird ein weiterer geprüft. Ist dieser Ballen in Ordnung, so wird maximal ein dritter Ballen beprobt. Sind zwei von drei Ballen nicht spezifikationsgerecht, so ist die Reklamation der Lieferung einzuleiten. Die DKR-Richtlinie zur Qualitätsprüfung für Outputfraktionen aus der Sortierung von LVP-Sammelgemisch verweist als Grundlage für die Probenahme auf die Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen (LAGA PN 98). Allerdings findet diese in Bezug auf die Sortierung von Abfallstoffen mit einer Korngröße von > 120 mm keine Anwendung. Mittlere Korngrößen für bspw. Mischkunststoffe liegen zwischen 250 mm und 300 mm. Aus diesem Grund verweist die LAGA PN 98 auf die Richtlinie zur einheitlichen Abfallanalytik Sachsen (Richtlinie

Abfallanalytik). Dort werden zwar die ausgenommenen Abfallstoffe behandelt, allerdings nur in Form von Sortierresten. Die Untersuchung der Sortierreste mit Hilfe der Richtlinie Abfallanalytik dient ferner der Leistungsfähigkeit der untersuchten Anlage. Eine Anwendung auf sortierte Produkte ist damit nicht darstellbar.

Für die Untersuchung des Ballens werden mindestens zwei Mitarbeiter benötigt. Nach der Kontrolle der Lieferform sowie der Ballenkennzeichnung wird der Ballen mittels Gabelstapler vom LKW abgeladen und auf die Probefläche gestellt. Nicht unüblich ist die Entnahme eines Ballens aus einem Ballenlager, meist unüberdacht. Die Mitarbeiter stellen Behälter für die zu sortierenden Fraktionen und eine Waage bereit. Zur Erkennung von nicht klar identifizierbaren Inhaltsstoffen wird ein mobiles Infrarotspektrometer verwendet. Anschließend werden die Ballenbindungen mit Hilfe eines Bolzenschneiders aufgetrennt. Dieser Vorgang ist gefährlich, da die Bindungen unter Spannung stehen und nach dem Auftrennen in Richtung des Mitarbeiters ausschlagen können. Deshalb fixiert das Transportgerät den Ballen in Pressrichtung. Wird der Ballen nicht mehr von den Bindungen gehalten, kann eine Zerlegung stattfinden. Dies geschieht entweder händisch oder mit Hilfe von Gabelstaplern bzw. Radladern. In der Regel wird der Ballen mit einem Gabelstapler halbiert und anschließend auf einen Sortiertisch gestellt. Aus dem Balleninneren werden willkürlich 80 kg bis 100 kg entnommen, fraktionsweise sortiert und ausgewogen. Dabei muss ein stark vergrößertes Volumen beprobt werden, welches nicht mehr dem des ursprünglichen Ballens entspricht. Die entnommene Menge beträgt in etwa ein Viertel des Ballens und wird willkürlich ausgewählt. Sind alle Fraktionen ausgewogen, so wird die Massenbilanz gebildet und mit der vorliegenden Produktspezifikation verglichen. Auf Grundlage dieser Auswertung wird entschieden, ob weitere Ballen dieser LKW-Ladung beprobt werden müssen. Bevor eine Abweisung stattfinden kann, muss mindestens noch ein Ballen negativ auffallen. Es sind maximal drei Ballen zu beproben. Sind alle Auswertungen vollzogen und eine Entscheidung über die Annahme oder Abweisung der Lieferung getroffen, wird jeder geöffnete Ballen in den Produktionskreislauf gegeben. Dies ist unabhängig davon, ob der Ballen die Produktspezifikationen erfüllt oder nicht. Grobe Störstoffe werden per Hand aussortiert und gesondert behandelt.

1.2 Probenahme nach betriebsinternen Richtlinien in EBS-Anlagen

Angelieferte Ballen werden in den befragten Betrieben optisch kontrolliert. Dabei wird festgestellt, ob das Material frisch verpresst oder längere Zeit gelagert wurde. So ist anhand von ankompostiertem Material, starker Geruchsentwicklung oder verrosteten Ballendrähten eine längere Lagerung im Freien zu erkennen. Nach dem Zufallsprinzip sind aus drei Anlieferungen per LKW zwei bis drei Ballen gesondert zu lagern. Das oft genannte Zufallsprinzip ist in der Regel willkürlich, da kein Zufallssystem (bspw. über eine Zufallszahlenberechnung am Computer) verwendet wird. Diese Ballen werden als Monocharge durch die im Vorfeld entleerte EBS-Aufbereitungsanlage gefahren. Eine Aufbereitung der Mischkunststoffballen findet mit Metallabscheidern und Windsichtern statt. Im Prozess erfolgen die Probenahmen mit meist automatisierten Probenehmern. Dabei werden die einzelnen Proben zu einer Mischprobe zusammengeführt, gemäß LAGA PN 98 reduziert und eine Teilprobe zur Analyse in ein zertifiziertes Labor gesendet. Nicht selten verfügen EBS-Aufbereitungsanlagen über mehrere Aufbereitungslinien mit unterschiedlichen Abscheideaggregaten. Wird im laufenden Betrieb eine Verschlechterung der Qualität festgestellt, so kann der Massenstrom auf eine der Materialqualität angepassten Aufbereitungslinie umgeleitet werden. Dies löst unmittelbar eine entsprechende Reklamation beim Kunden aus. Die Qualitätskontrolle dient in erster Linie der Erstellung einer Laborprobe zur Analyse der beinhaltenden Schadstoffe und des Heizwertes.

2 Zufällige Volumenelemententnahmen aus Wertstoffballen

Probenahmen aus Stoffströmen unterliegen verschiedener Einflüsse. Speziell zufällige Volumenelemententnahmen aus Wertstoffballen bewegen sich in einem komplexen Spannungsfeld, wie in Abb. 1 dargestellt. Als Ergebnis der Probenahme soll eine re-

präsentative Laborprobe generiert werden, welche weiter aufbereitet und analysiert oder sortiert werden kann.

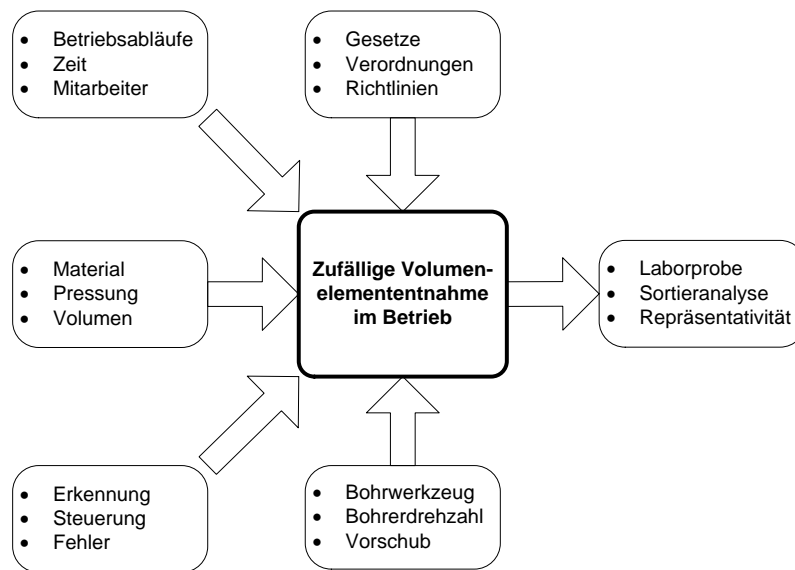


Abb. 1: Spannungsfeld einer zufälligen Volumenelemententnahme mit Hilfe der Ballenbeprobung.

Zufällige Proben werden mit Hilfe von Kernbohrern aus Wertstoffballen entnommen. Diese sind auf den zu beprobenden Wertstoffballen angepasst, da der Balleninhalte sehr heterogen aufgebaut ist. Mit Hilfe eines computerunterstützten Zufallsalgorithmus werden dreidimensionale Volumenelemente bestimmt und ausgebohrt. Die Bestimmung der Bohrpunkte muss u. a. die Außenkante, den Stegbereich, die Bindung und die Beprobungsfläche des Wertstoffballens berücksichtigen, sodass ein Bohrvorgang ohne Fehler durchzuführen ist (vgl. Abb. 2 links). Entsprechend bestimmte Volumenelemente (V_i) können durch drei verschiedene Vorgehensweisen, in Abb. 2 rechts, aus dem Ballen entnommen werden. Bei der Vollkernentnahme wird der gesamte Bohrkern bis zum Ende des berechneten V_i entnommen. Innerhalb der Zweiphasenentnahme werden zuerst alle Volumenelemente vor dem berechneten V_i entnommen, welches im zweiten Bohrvorgang endgültig ausgebohrt wird. Während der Volumenelemententnahme sind die Volumenelemente vor dem berechneten V_i in einzelnen Schritten herauszubohren, bevor das betreffende V_i entnommen wird. Der Grund für die unterschiedlichen Entnahmekarten liegt u. a. in der nicht einheitlichen Materialzusammensetzung und Dichte. Mit entsprechenden Kernbohrern können sowohl sehr weiche Materialien wie Kunststoffolie, aber auch sehr harte Materialien, bspw. Metalle, beprobt werden.

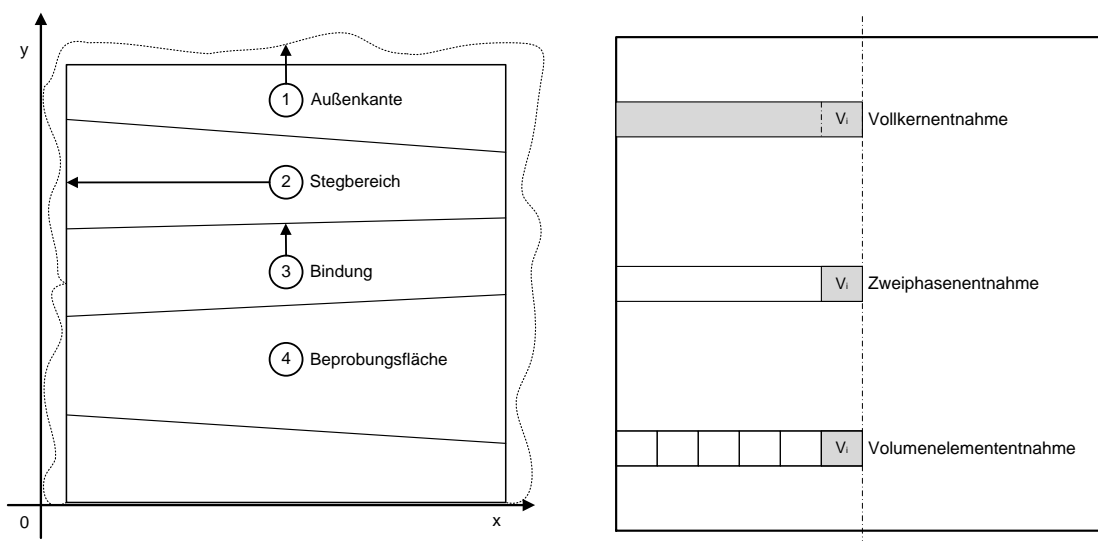


Abb. 2: links: Wertstoffballen in Frontalansicht; rechts: Entnahmekarten aus Wertstoffballen mittels Kernbohrer.

3 Optische Ballenerkennung – Weg zur vollständigen Automatisierung

Für die Automatisierung der Ballenbeprobung wurde ein Simulationsboard entwickelt und in Betrieb genommen. Anstehende Steuerungsaufgaben werden mit einer SIMATIC S7-1200 von Siemens und einem Raspberry Pi gelöst, siehe Abb. 3 links. Angeschlossen an die SPS, dient das Raspberry Pi als erweiterte Recheneinheit. Durch die Kommunikation mit einem Sensor, im Falle der Ballenbeprobung eine Kamera, kann die Dimensionierung der zu beprobenden Wertstoffballen durchgeführt werden. Die Verwendung des Human-Machine-Interface (HMI) ermöglicht eine leichte und innovative Bedienung für den späteren Nutzer. Anhand von Signalfarben wird der Nutzer auf eintretende Fehler aufmerksam gemacht. Abschließend führt die Recheneinheit die Bohrung selbständig durch. Der Nutzer hat dieses lediglich zu bestätigen.

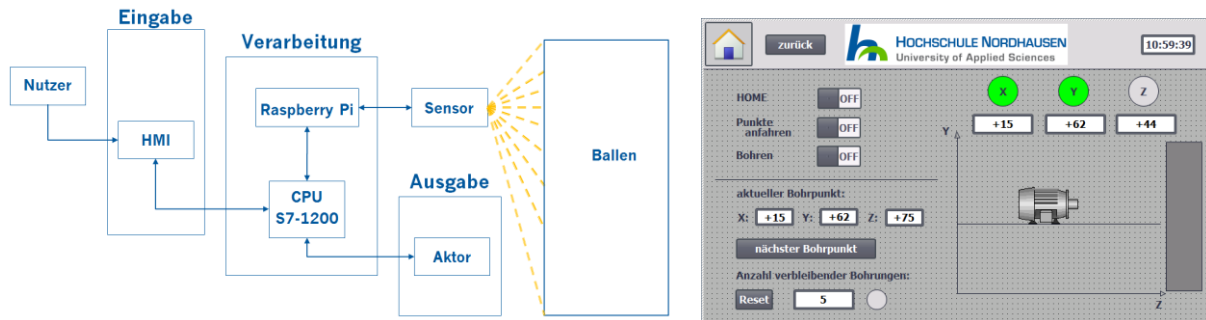


Abb. 3: links: Verarbeitungsprinzip der Steuerung; rechts: Ausschnitt der Benutzeroberfläche des Human-Machine-Interface.

Zur Dimensionierung der zu beprobenden Wertstoffballen wird eine optische Vermessung des Ballens durchgeführt. Mit Hilfe von Erkennungsmarkern wird durch den Operator eine Messgrundlage geschaffen. Ein Marker ist ein kreisrundes Objekt und dient der optischen Erkennung von Bindungen sowie Randbereichen des Ballens. Das optische Erkennungssystem erstellt eine Aufnahme von Ballen und Markern. Anschließend ermittelt das Programm auf dem Raspberry Pi für jede Aufnahme die genaue Position der Marker und übermittelt die aufbereiteten Daten anschließend automatisch an die Recheneinheit. Anhand von Geradengleichungen wird der Verlauf der Bindungen an der Oberfläche des Ballens angezeigt (vgl. Abb. 2 links). Die zufällig generierten Bohrpunkte (x, y) werden auf ihre Lage an der Ballenoberfläche überprüft. Überschneidungen oder Nichteinhalten des festgelegten Abstandes mit der Gurtung und bereits abgelegten Punkten sowie Punkten im Stegbereich, werden verworfen und neu generiert. Der Vorgang endet, wenn die Anzahl an benötigten Bohrelementen erreicht ist. Mit Hilfe der optischen Ballenerkennung ist es möglich, den Beprobungsvorgang von einem Mitarbeiter durchführen zu lassen. Eine Maschine, auf der das hier dargestellte und in der Praxis simulierte Verfahren zur Erhöhung der Repräsentativität von Proben durch zufällige Volumenelemententnahmen aus Wertstoffballen angewendet wird, ist noch abschließend im ZIM-Projekt Ballenbeprobung (FKZ: KF2119909KO4) von der Hochschule Nordhausen und der Schulz & Berger Luft- und Verfahrenstechnik GmbH zu entwickeln.

Kontakt

Christian Borowski, M.Eng.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Hochschule Nordhausen (HSN)

Tel.-Nr.: 03631 420 723

E-Mail: borowski@hs-nordhausen.de

Homepage: www.hs-nordhausen.de