
No. 12.0

Brikkieren von
metallurgischen Reststoffen
zur Rückführung
in den Stoffkreislauf

Dr.-Ing. Ulrich Hirsch
Maschinenfabrik Köppern GmbH & Co. KG

Köppern

1. Einführung

In metallurgischen Prozessen fallen an verschiedenen Stellen Stoffe an, die für eine weitere Verwendung aufgrund ihrer Feinheit nicht geeignet sind. Die Deponierung ist oft nicht wirtschaftlich und/oder wird durch gesetzliche Regelungen erschwert. Durch Brikettierung oder Kompaktierung mit Walzenpressen kann ein Produkt mit definierter Größe erzeugt werden, so dass die Nutzung der darin enthaltenen Ressourcen möglich wird.

Über ein Zuteilsystem wird das Brikettiergut in den Raum oberhalb zweier gegenseitig rotierender Walzen geführt. Beim Durchtritt durch den Walzenspalt wird das Material verdichtet und zu Produkt geformt. Hier werden zwei Verfahren beschrieben: das Brikettieren und das Kompaktieren. Ziel beider Varianten ist es, ein



Abb. 1: Anwendungsgebiete für Walzenpressen

Aluminiumstäube/ -späne	Eisenoxid	Stahlwerksstäube
Messingstäube/ -späne	Bleioxid	Zinnkonzentrat
Chromerz	Walzunder	Waelzoxid
Koks/Petrolkoks	Molybdänoxid	Zinkoxid
Elektrodenmasse	Nickelerz	Eisenschwamm heiß/kalt
Konverterstaub kalt/heiß	Nickelpulver	Kupferkonzentrat

Abb. 2: Verschiedene metallurgische Anwendungen für Walzenpressen

Produkt von definierter Form und Größe zu erzeugen. Beim Brikettieren werden durch in die Werkzeuge eingesenkte, deckungsgleiche Formmulden gleichförmige Agglomerate erzeugt. Beispiele sind "Eierkohlen" und HBI. Eine weitere Anwendung ist der Einsatz bei der Zerkleinerung; darauf soll hier nicht weiter eingegangen werden. Abb. 1 zeigt verschiedene Produkte.

Beim Kompaktieren kommen entweder glatte oder - zum besseren Einzug - profilierte Presswerkzeuge zum Einsatz. Es wird ein Band gleichmäßiger Dicke, eine sogenannte Schülpe, erzeugt. Diese kann dann auf ein geeignetes Körnungsband gebrochen werden. Einsatzgebiete sind die Kompaktiergranulierung von Düngemitteln oder die Erzeugung von Schülpen aus Aluminiumspänen.

2. Grundlagen der Brikettierung

Die Walzenpressentechnologie ist inzwischen mehr als 150 Jahre alt. Das einfache, aber wirksame Grundprinzip hat sich nicht verändert. Die Entwicklung liegt in der Maschinen- und Verfahrenstechnik, in der Erschließung neuer Applikationen und in den Werkstoffen. Abb. 2 zeigt eine Übersicht über verschiedene Anwendungen in der Metallurgie.

2.1. Maschinenteknik

Eine Walzenpresse besteht aus den Hauptbaugruppen

- Pressenrahmen
- Los- und Festwalze
- Hauptantrieb
- Materialzuteilung
- Anpresshydraulik

Abb. 3 zeigt eine Walzenpresse mit Standardrahmen und Doppelwellenantrieb und eine mit Klapprahmen und Planetengetrieben. Der Pressenrahmen nimmt Los- und Festwalze sowie die Hydraulikblocks und die Einkleidung

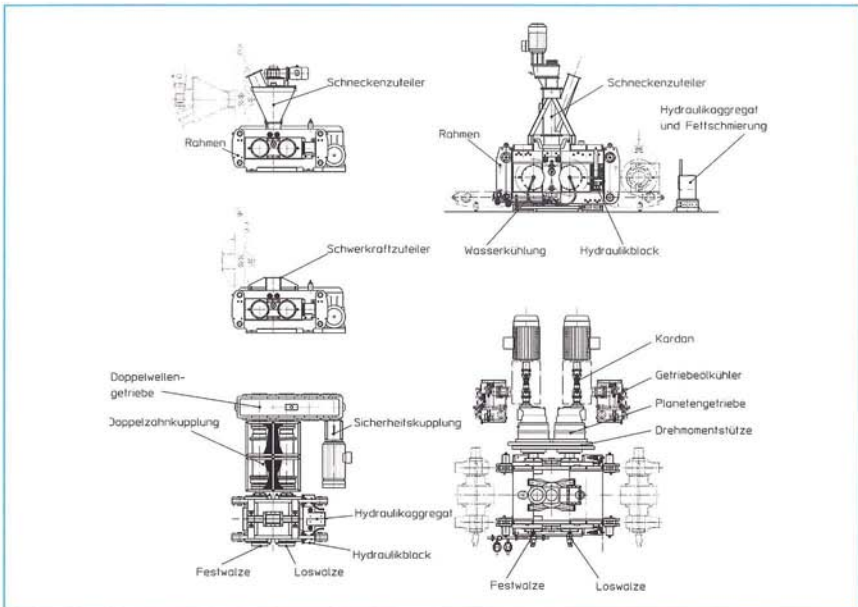


Abb. 3 links Walzenpresse mit Standardrahmen und Doppelwellenantrieb, rechts Walzenpresse mit Klapprahmen und Planetengerieben

auf. In der Ausführung als Klapprahmen können die Kopfstücke heruntergeklappt werden, um die Walzen stirnseitig ausbauen zu können. Bei den sogenannten Standardpressen, einer vereinfachten Ausführung, wird das Rahmenoberteil geklappt.

Die Walzen tragen die Presswerkzeuge. Sie können als Vollwalzen, mit Bandagen oder mit Segmenten ausgeführt werden (vergl. Abb. 4). Die Oberfläche wird je nach Anforderung bzw.

Aufgabematerial ausgeführt. Möglich sind Brikettmulden unterschiedlicher Form und Größe sowie glatte bzw. profilierte Oberflächen für Kompaktierung und Zerkleinerung. Es stehen verschiedene Lösungen zur Verfügung, die je nach Aufgabegut und Maschinenvariante ausgewählt werden. Hier gilt es, ausreichend verschleißfeste Materialien einzusetzen, um hohe Standzeiten zu erzielen und damit Kosten so gering wie möglich zu halten. Je nach Anwendung stehen eine Reihe Lösungen zur Verfügung. Die



Abb. 4 Verschiedene Werkzeugausführungen (von links): Bandage, Segmente, Streifensegmente

Werkstoffe bzw. die nötigen Behandlungen (Härten, Vergüten etc.) werden anwendungsspezifisch angepasst.

Der Hauptantrieb ermöglicht den schwimmenden Betrieb der Loswalze in Zusammenwirkung mit der Anpresshydraulik und den Einsatz unterschiedlicher Walzendurchmesser. Die Presswerkzeuge können darum nachgearbeitet und wieder verwendet werden. Bei der Brikettierung ist eine Synchronisierung der Formmulden erforderlich, so dass hier ein Doppelwellenantrieb mit Bogenzahnkupplungen zum Einsatz kommt. Bei der Kompaktierung werden die Walzen einzeln, ab einer bestimmten Pressengröße und bei der Zerkleinerung fast ausschließlich, über Planetengetriebe angetrieben.

Die Materialaufgabe erfolgt entweder über einen Schnecken- oder einen Schwerkraftzuteiler. Die Auswahl hängt vom Fließ- und Formfüllungsverhalten ab.

Die Klassifizierung der Walzenpressen erfolgt nach der zulässigen Lagerbelastung. Die kleinste KÖPPER-Pressen verfügt über eine Gesamtpresskraft von 400 kN, die größte bisher hergestellte Type über 19.100 kN.

Maschinengewichte variieren zwischen 2 und 400 t. Über die mögliche Umfangsgeschwindigkeit, den spezifischen Presskraftbedarf und die Formengröße wird die Maschinentype bestimmt. Weitere bestimmende Faktoren sind die Ausführung der Werkzeuge und des Zuteilers.

2.2. Bindemittel

Eine Reihe von Stoffen lässt sich ohne Zusatz von Bindemitteln zu Produkt ausreichender Festigkeit verpressen. Dazu gehören Brantkalk, Salze, Eisenschwamm heiß und Magnesit. Die Bindung beruht auf durchaus unterschiedlichen Phänomenen:

- *van der Waals-Kräfte*
- *mechanische Verzahnung*
- *Verschmiedung*
- *Plastifizierung unter Druck*

Nach Reichmann /1/ können Bindemittel in sieben Gruppen unterteilt werden:

- *Thermoplastische Binder (z.B. Pech, Bitumen, Kunststoffe, Wachse, Harze)*

Typischstes Beispiel ist die Brikettierung von Steinkohle mit Pech oder Bitumen. Durch Temperaturerhöhung von Pressgut und Binder wird die Viskosität des Binders soweit herabgesetzt, dass eine Benetzung des Brikettiergutes möglich ist. Nach dem Abkühlen bilden sich feste, zähe Brücken.

- *Mörtelbinder (z.B. Kalkmörtel mit und ohne Aushärtung durch CO₂, Gips, Zement)*
Durch chemische Reaktion entstehen Kristalle, die sich mit der Oberfläche des Brikettiergutes verzahnen. Nachteilig sind niedrige Grünfestigkeiten sowie ein relativ hoher Bedarf. Interessant ist die Verwendung von Kalk(hydrat) mit Nachhärtung durch CO₂-haltige Atmosphäre, wenn das Brikettiergut einen gewissen Kalkanteil mitbringt (Hüttenreststoffe).
- *Glucosidische Binder mit Wasser (z.B. Stärke, Melasse, Ligninsulfonat)*
Melasse in Kombination mit Kalkhydrat ist der vielleicht am weitesten verbreitete Binder. Unter Druck bilden sich Kalzium-Saccharate, die für hohe Grünfestigkeiten sorgen. Die Mörtelbildung mit CO₂ führt dann zu weiterer Aushärtung.
- *Nicht-glucosidische organische Lösungen (z.B. Bakelit, Polymere)*
- *anorganische Lösungen (z.B. Wasserglas, Phosphorsäure)*
- *tonige Binder (z.B. Bentonit)*
- *faserige Binder (z. B. Zellulose-Fasern, Papiermehl)*

2.3. Maschinenauslegung und Verfahrenstechnik

Die Einsatzstoffe sind mehr oder weniger natürlichen Ursprungs, so dass auch bei scheinbarer Gleichheit (z.B. bei der chemischen Analyse) deutliche Schwankungen der physikalischen Eigenschaften auftreten können. Erste Tastversuche mit kleinen Mengen können mit einer Stempelpresse durchgeführt werden. So kann eine Sichtung möglicher Bindemittelkombinationen sowie eine Abschätzung zum Bedarf an Presskraft erfolgen.

Es ist grundsätzlich empfehlenswert, die Auslegung der Maschine und der zugehörigen Anlage durch Versuche auf Walzenpressen zu



Abb. 5 Köppern Technikum.
Links Walzenpresse 52/10, rechts 52/6,5

überprüfen. Es wird ein Technikum im halb industriellen Maßstab betrieben (vergleiche Abb. 5). Neben zwei Walzenpressen mit 1000 mm bzw. 650 mm Walzendurchmesser stehen Mischer, Brecher, Siebe und weitere Peripherieaggregate zur Verfügung, um die verschiedenen Prozesse simulieren zu können. Auch Heißbrikettierungsversuche bis ca. 850 °C sind möglich.

Ziel der Versuche ist

- die Optimierung des Aufgabematerials (Mischung, Binder, Feuchte, Rückgut etc.)
- die Ermittlung von Brikettierparametern wie Drehmoment, Presskraft, Drehzahlen, die Auswahl des Materialzuteilers (Schwerkraft, Schnecke, Sonstiges)
- die Bestimmung von Produktparametern wie Ausbringung, Dichte, Festigkeiten
- die Ermittlung von Kreisläufen
- die Auswahl weiterer Ausrüstung (z.B. Brecher, Siebe)

Die vorhandenen Walzenpressen befinden sich bezüglich des Durchmessers in der Mitte des Lieferspektrums, so dass eine Auslegung auf Basis von Versuchen ohne Risiken beim Scale Up/Down möglich ist. Ebenso werden Grundlagen für die Verfahrenstechnik der projektierten Brikettieranlage ermittelt. Bei Bedarf werden Aussagen zu Stoffströmen und anderen benötigten Aggregaten wie Mischern, Sieben oder Brechern getroffen. Abb. 6 zeigt ein mit Hilfe ausführlicher Versuche ermitteltes, ausgeführtes Verfahrensschema, Abb. 7 eine Bildschirmdarstellung der Anlagensteuerung.

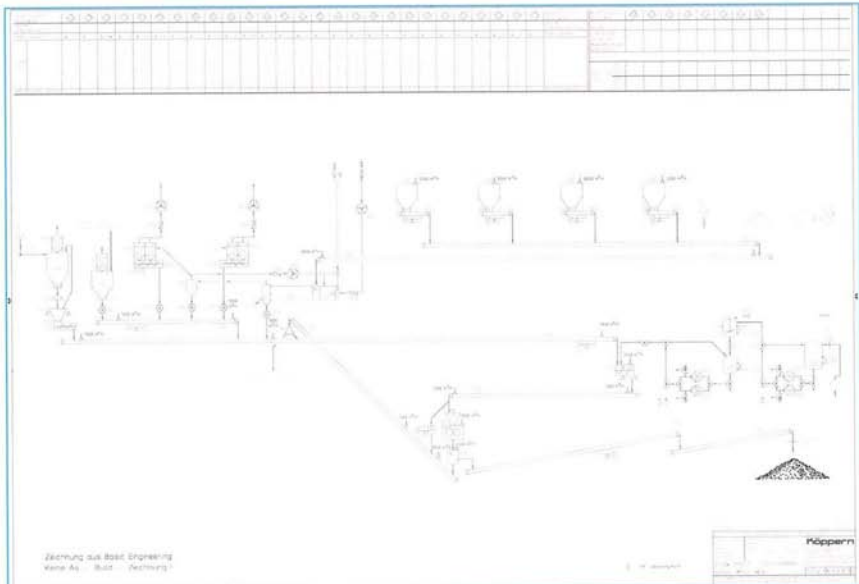


Abb. 6 Verfahrensschema Brikettierung von Hüttenreststoffen

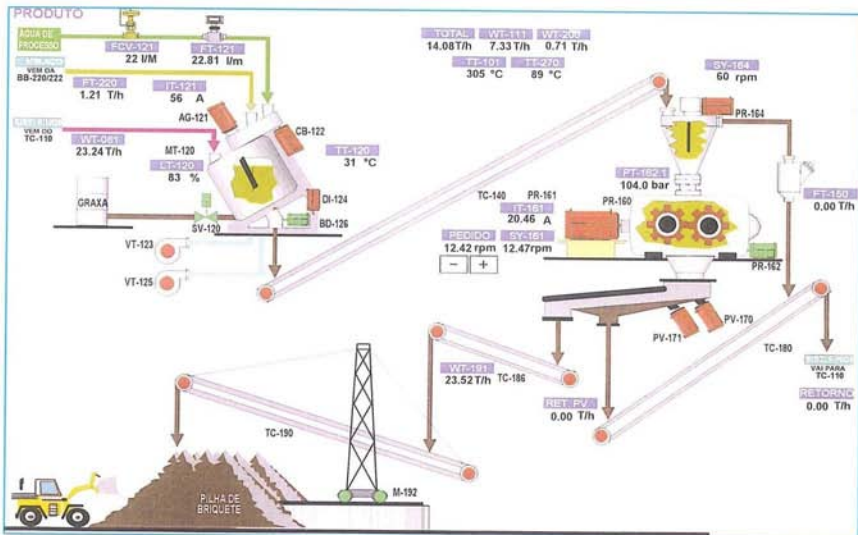


Abb. 7 Bildschirmdarstellung der Steuerung einer Hüttenreststoffbrikettierung

3. Anwendungsbeispiele

Im Folgenden wird der Einsatz von Walzenpressen zur Verarbeitung von Reststoffen anhand von Beispielen erläutert. Eine umfassende Darstellung würde den gegebenen Rahmen sprengen, zudem sich dieses Gebiet in ständiger Bewegung befindet und sich regelmäßig neue Anwendungen ergeben. Abb. 8 zeigt den spezifischen Presskraftbedarf verschiedener Anwendungen von Walzenpressen. Er erstreckt sich von etwa 25 kN/cm Walzenbreite für die Brikettierung von Hüttenreststoffen mit Binder bis zu 140 kN/cm für Aluminium. Der Bedarf an Presskraft für ein Material steigt mit dem Walzendurchmesser und der Formgröße

3.1. Hüttenreststoffe

Es gibt hier eine nahezu unüberschaubare Vielfalt an verschiedenen Reststoffen, die zudem noch in Aufkommen und Zusammensetzung deutlichen Schwankungen unterzogen sind. Die Brikettierung erlaubt den Einsatz einer Vielzahl an Reststoffen. Einschränkungen liegen im Öl- und Wassergehalt sowie im nachfolgenden Prozess. Grundsätzlich ist es möglich, die Brikettieranlage an die spezifischen Anforderungen des Stahlwerks anzupassen und

trotzdem eine große Bandbreite an Aufgabematerialien verarbeiten zu können.

Es kommen zwei Verfahrensprinzipien zur Anwendung: Kalt- und Heißbrikettierung. Enthalten die Reststoffe noch metallisches Eisen, kann dieses nach Erhitzen auf Temperaturen oberhalb 550 °C als Binder verwendet werden. Es liegen einige Referenzen zur Heißbrikettierung von Converterstäuben aus der Trockenentstaubung vor. Diese Stäube weisen CaO-Gehalte von bis zu 30 % auf. Der Einsatz von Bindemitteln auf Wasserbasis ist nur mit erhöhtem Aufwand möglich, da das Ablöschen des Kalkes zu unerwünschten und schwer kontrollierbaren Reaktionen führt. Durch das Heißbrikettieren bleiben die Anteile an metallischem Eisen und CaO unverändert und kommen dem Converterprozess in vollem Umfang zu Nutze.

"Nasse" Aufgabematerialien sind voll oxidiert bzw. hydratisiert. Sie können mit Bindemittel brikettiert werden. Die Gehalte an Öl (Trennmittel) und Wasser (inkompressibel) sind zu begrenzen. Die zulässigen Gehalte variieren mit der Kornverteilung und dem Einsatzstoff. Üblicherweise werden Melasse und Kalkhydrat als Bindemittel eingesetzt. Sie sind nahezu überall zu vernünftigen Preisen verfügbar. Die Dosierung ist unproblematisch. Zudem "verzehrt"

dieses Bindsystem gewisse Schwankungen im Aufgabegut. Ein Stahlwerk hat eine Brikettierkapazität von ca. 25 t/h für Reststoffe zum Einsatz in den Hochofen installiert.

Ein wichtiger Aspekt ist die Standzeit der Brikettierwerkzeuge. Hüttenreststoffe enthalten zum Teil hochverschleißende Anteile (z.B. Roheisen, Eisenoxide, Quarz). Es liegen ausreichend Erfahrungen vor, die durch entsprechende Grundlagenuntersuchungen untermauert werden können, um dem Kunden eine spezifische Lösung zur Verfügung zu stellen.

3.2. Schleifspäne

Schleifspäne fallen in unterschiedlichsten Mengen, Formen und Zusammensetzungen an. Das Gebiet lässt sich durch Bohr- und Drehspäne, auch aus Messing, Bronze und Kupfer, erweitern. Grundsätzlich lassen sich diese Späne nach Trocknung und/oder Entölung brikettieren, je nach Material auch ohne Bindemittel. Die Herausforderung liegt in der Logistik. Die anfallenden Mengen sind, gemessen am Durchsatzvermögen einer Walzenpresse, gering. Größere Produzenten haben vielleicht 500 t/a. Zudem sind die Erzeuger weit gestreut. Die Brikettieranlage muss in der Lage sein, eine große Bandbreite zu verarbeiten. Lagerung, Aufbereitung, Bindemitteldosierung etc. erfordern einen gewissen apparativen Aufwand, so dass aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten ein Durchsatz von 5-10 t/h erforderlich ist. Andererseits stehen den relativ konstanten Kosten variable Erträge durch Gutschriften für die Materialannahme sowie den Verkauf der Metalleinheiten und rückgewonnener Kühlschmiermittel gegenüber. Bei geschickter Auswahl der angenommenen Späne ergibt sich ein gewisser Spielraum.

3.3. DRI Fines

Bei der Direktreduktion von Eisenerz im Schachtofen fallen zwischen 6 und 30 % Feinanteil an. Der Einsatz dieser Fraktion im Elektrolichtbogenofen ist nicht in allen Fällen möglich, so dass sie mit Bindemittel brikettiert wird. Üblicherweise wird Wasserglas mit Kalkhydrat als Bindsystem verwendet. Alternativen (Sulfitablauge, Melasse) sind bei gleicher Qualität vorhanden.

Bei der Kaltbrikettierung von Eisenschwamm werden spezifische Presskräfte im Bereich von



Abb. 8 Presskraftbedarf verschiedener Anwendungen

100 bis 120 kN/cm benötigt. Bei der Heißbrikettierung (HBI) kommen ähnliche Kräfte zur Anwendung. Die Kaltbrikettierung ist eine Mischung des "Schmiedens" der Heißbrikettierung ohne Bindemittel und des "Verklebens" bei der Kaltbrikettierung. Die Produktdichten liegen um 4 g/cm³. Typische Tonnagen liegen zwischen 20 und 40 t/h (2/, 3/).

3.4. Reduktion im Drehherd

Eine in der letzten Zeit häufiger diskutierte Variante zur Aufbereitung von Hüttenreststoffen ist die Route über die Reduktion im Drehherd. Ursprünglicher Ansatz ist die Reduktion von Eisenerz mit Kohle. Das Verfahren ist in der Lage, metallisches Eisen unter Abtrennung von flüchtigen Bestandteilen wie Zink und Blei zu erzeugen, so dass sich der Einsatz von Reststoffen anbietet. Der Drehherd benötigt stückiges Material. Der Einsatz einer Pelletierung erfordert eine gewisse Granulometrie, die die Auswahl der Einsatzstoffe einschränkt. Betreiber haben von Pelletieren auf Brikettieren umgestellt, da die Handhabung der Grünpellets und ihre Verteilung auf dem Herd nicht zufriedenstellend gelöst werden konnte.

Die Erzeugung von Briketts mit Bindemitteln ist bei den hier verwendeten Einsatzstoffen unproblematisch. Die Herausforderung liegt in der Herstellung heißfester, reduzierbarer Briketts unter sparsamer Verwendung von Bindemitteln.

Dies wurde durch ausführliche Grundlagenuntersuchungen mit Überprüfung unter industriellen Bedingungen erreicht. Inzwischen ist eine Anlage für ca. 120 t/h in Betrieb genommen und produziert zur Zufriedenheit des Kunden.

Der Austrag des Drehherdes wird heißbrikettiert. Damit wird die Dichte auf rund $4,5 \text{ g/cm}^3$ erhöht und die Stückigkeit verbessert, so dass der Betrieb beim Schmelzen optimiert wird. Auch ein Verkauf der Briketts als Schrottersatz wird praktiziert.

3.5. Aluminiumspäne

Aluminiumspäne, Folienreste oder aufbereitete Getränkeketten weisen eine geringe Schüttdichte (um $0,25 \text{ kg/l}$) auf, so dass ein direkter Einsatz in den Schmelzprozess erschwert wird. Die eingebrachte Menge ist gering. Zudem drohen Verluste durch Oxidation.

Je nach Art des Reststoffes erfolgt eine Vorbehandlung: Brechen, Entölen, Trocknen. In der Regel weisen diese Reststoffe eine grobe Kornverteilung auf. Beim Brikettieren würde dies zu starker Brückenbildung zwischen den Briketts führen, so dass eine Vereinzelung nicht möglich ist. Bei der Kompaktierung wird ein endloses

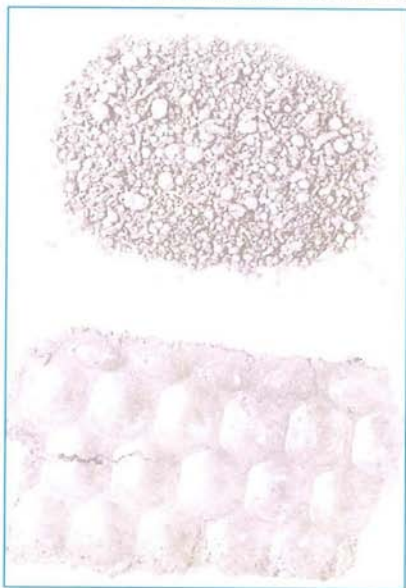


Abb. 9 Kompaktierung von Aluminium

Band erzeugt, das in Stücke definierter Länge geschnitten wird. Die Dichte der Schülpe liegt zwischen $2,3$ und $2,5 \text{ g/cm}^3$. Abb. 9 zeigt granulierten Alufolie und daraus erzeugte Schülpe. Die benötigte spezifische Presskraft liegt zwischen 120 und 140 kN/cm . Der hohe Umformgrad erfordert die Ausführung der Presse mit Schneckenzuteiler.

Bisher ausgeführte Maschinen weisen Kapazitäten von $2,75$ bis 4 t/h auf.

4. Zusammenfassung

Anhand von Beispielen aus der Praxis wurde der Einsatz von Walzenpressen zur Rückführung von Reststoffen in den Produktionskreislauf erörtert. Es zeigt sich, dass eine große Bandbreite verarbeitet werden kann. Die hier beschriebene Technologie hat eine lange Tradition auf diesem Gebiet und hat sich vielfach bewährt. Maschinen- und Anlagentechnik weisen eine hohe Flexibilität auf und können an die spezifischen Anforderungen des Kunden angepasst werden. Know How und die entsprechenden Einrichtungen zur Untersuchung und Entwicklung von Maschinen, Prozessen und Werkzeugen sind vorhanden. Die ständige Weiterentwicklung in enger Zusammenarbeit mit dem Kunden erschließt immer wieder neue Felder.

5. Literatur

- /1/ Reichmann, F.: "Bindemittel und ihre typischen Verwendungen", interne Köppern-Schrift
- /2/ Rieschel, H. Dr.: "Gegenwärtiger Stand der Eisenschwammbrickettierung unter Berücksichtigung der Bindemittelauswahl", Stahl und Eisen, Heft 24, 1980
- /3/ Rieschel, H. Dr.: "Über die Brikettierung von Eisenschwamm", Fachberichte Hüttenpraxis, Heft 12, 1977

Maschinenfabrik KÖPPER
GmbH & Co. KG
Königsteiner Str. 2
45529 Hattingen
fon ++49-2324-207-0
fax ++49-2324-207-207
mail info@koepfern.com
www.koepfern.com