

# Zukünftige Herausforderungen zum Schließen von Materialkreisläufen in einem vollintegrierten Aluminium-Recyclingwerk

Tom Rosenhagen und Michael Jordan

1.	Besondere Anforderungen an die Einzelprozesse .....	290
1.1.	Materialsortierung und -aufbereitung .....	290
1.2.	Schmelzprozess.....	293
1.3.	Gießprozess.....	296
2.	Zusammenfassung .....	297
3.	Literatur.....	298

Mit zunehmenden Kosten für Energie, Entsorgung und Rohstoffe, insbesondere für die Produktion von primärem Aluminium, sowie einer zunehmenden Fokussierung auf die Implementierung von nachhaltigen Produktionsprozessen nimmt die Bedeutung von vollintegrierten Recyclingwerken sowohl aus wirtschaftlicher als auch aus ökologischer Sicht zu. Das derzeit größte Aluminium-Recyclingwerk der Welt wird von der Novelis Sheet Ingot GmbH am Standort Nachterstedt betrieben, welches eine jährliche Produktionskapazität von 400.000 Tonnen Walzbarren erreicht.

Aufgrund der variierenden Eigenschaften des zu verarbeitenden Materials, im Vergleich zu Primäraluminium, existieren komplexe Anforderungen im Bereich Sicherheit, Wirtschaftlichkeit und Qualität bei der Produktion von Walzbarren. Der Gesamtprozess lässt sich thematisch zunächst in drei Teilprozesse untergliedern. Das beinhaltet die Rohstoff- bzw. Schrottaufbereitung (Shredding/Decoating) sowie den Schmelzprozess (Melting), beide Teilprozesse beinhalten die meisten Herausforderungen zum Schließen der Materialkreisläufe. Abschließend gliedert sich der Gießprozess (Casting) als letzter Arbeitsschritt ein. Innovative Unternehmensabläufe sowie Prozessorganisationen bezüglich der Ausbeutesteigerung sowie der Minimierung zu entsorgender Abfälle bzw. extern umzuarbeitender Materialien werden erforderlich.



Bild 1:

Luftaufnahme des Aluminium-Recyclingwerks der Novelis Sheet Ingot GmbH

## 1. Besondere Anforderungen an die Einzelprozesse

Das zentrale Element zum kontinuierlichen und effizienten Betrieb eines vollintegrierten Recyclingcenters bildet die schwankende Rohstoffqualität. Die primären Faktoren zur Klassifizierung der Materialien sind:

- chemische Zusammensetzung der Aluminiumschrotte (Störelemente),
- Anteil an nicht Al-haltigen Komponenten (organisch und metallisch),
- Anteil an Feuchtigkeit.

Neben den Herausforderungen die in direktem Zusammenhang mit den Rohstoffen stehen, gibt es auch prozessbedingte Zwischenprodukte, die zum Teil einen erheblichen Anteil an Aluminium enthalten. Auch aus energetischer Sicht gilt es den im Vergleich zur Herstellung von Primäraluminium bereits niedrigen Energiebedarf zum Recyceln von Aluminium weiter zu reduzieren und Prozessabwärme effektiv zu nutzen. Auf die spezifischen Hürden wird in den nachfolgenden Abschnitten detaillierter eingegangen.

### 1.1. Materialsortierung und -aufbereitung

Dieser Prozessabschnitt lässt sich in weitere Unterprozesse gliedern, bei denen sich die Herausforderungen durchaus unterscheiden. Somit gibt es zum einen die *kalte* Materialaufbereitung, die das Zerkleinern und Sortieren umfasst sowie eine *heiße* Materialbehandlung, bei der organische Bestandteile abgeschwelt werden. Zentrale Eigenschaften die momentan zur Materialtrennung genutzt werden sind der Magnetismus, die Dichte und die Materialgröße.

Die Qualität der Sortierung entsprechend der zuletzt genannten Eigenschaften, also die Abtrennung leichter, schwerer und feiner Komponenten, wird bei den Schredder- und Sortieranlagen primär durch den Feuchtigkeitsgehalt in den Ausgangsmaterialien beeinflusst. Der Feuchtigkeitsgehalt in den Rohstoffen steht in Zusammenhang mit den Jahreszeiten und ist in Bild 2 dargestellt.

Feuchte Schrotte und Verunreinigungen führen zu einer schnellen Verblockung der Siebeinheiten bzw. einer Dichteänderung von organischen Verunreinigungen (z.B. Pappe/Papier). Somit werden z.B. Materialien mit einer Korngröße  $< 2$  mm (Cold-Fines) nicht mehr effizient separiert. Ein Ausbeuteverlust und Prozessprobleme in der anschließenden thermischen Materialbehandlung sind die Folge. Die Prozessprobleme werden nachfolgend detaillierter betrachtet.

Neben den drei bereits erwähnten Materialeigenschaften die zur Trennung der Materialströme genutzt werden, wird die Auftrennung von Aluminiummischschrotten nach den Hauptlegierungsgruppen oder das Abtrennen von Aluminiumfraktionen mit Störelementen – z.B. hoher Si-, Cu- oder Mg-Gehalt – zukünftig eine immer wichtigere Rolle spielen. Ein effizienter Separierungsprozess kann die Nachhaltigkeit im Gesamtprozess sowohl aus ökologischer als auch aus ökonomischer Sicht maßgeblich steigern, da der Verbrauch von Primäraluminium und Legierungselementen reduziert wird. Deutlich wird dies bei der Betrachtung des Primäraluminiumverbrauchs beim Recyceln von

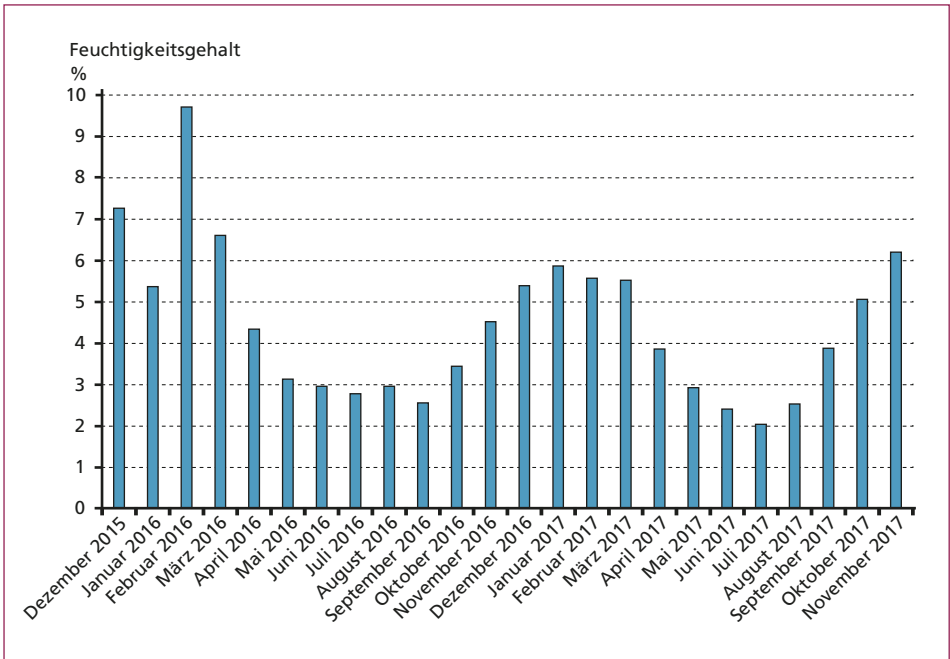


Bild 2: Zeitlicher Verlauf des durchschnittlichen Feuchtigkeitsgehalts im angelieferten Used Beverage Can-Material

UBC-Material (Used Beverage Can) im Vergleich zu Mischschrotten einer 5xxx oder 6xxx Legierungsgruppe. Beim Recyclen von UBC-Material und der Produktion einer Can-Body-Legierung kann ein Primekonsum von  $< 5\%$  ohne größeren technischen Aufwand erreicht werden. Im Vergleich dazu ist für die Herstellung einer spezifischen Legierung aus Mischschrotten derselben Legierungsgruppe eine Primezugabe von  $1.53\%$  erforderlich. Der Verbrauch von Legierungselementen kann weiterhin durch den gezielten Einsatz separierter Metallfraktionen reduziert werden. Dazu ist jedoch eine weitere Auftrennung der einzelnen Fraktionen und ggf. eine zusätzliche Analyse der Materialreinheit erforderlich, um ein Verunreinigen der Schmelze bei Zugabe dieser Materialien zu vermeiden. Eine weitere wirtschaftlich weitaus weniger lukrative Variante ist die externe Umarbeitung bei einem Kupfer- oder Eisenverwerter. Auch dieser Weg hat eine Erhöhung der Nachhaltigkeit zur Folge.

Die während der Materialaufbereitung/-sortierung separierten bzw. abgeschiedenen Fraktionen enthalten signifikante Anteile an Aluminium, die mit Organik behaftet bzw. organikhaltigen Stoffen vermischt sind. Eine weitere interne Aufbereitung dieser Fraktionen mit unterschiedlichsten Materialeigenschaften zur Steigerung der Materialausbeute hat große Potentiale, ist jedoch mit verschiedensten Herausforderungen verbunden. Kernpunkte sind dabei die Abtrennung oder Entfernung organischer Verunreinigungen und Anhaftungen, eine wirkungsvolle Vorheizung und eine Kompaktierung sehr feiner Fraktionen (staubartig), um einen effizienten Schmelzprozess zu gewährleisten.

Neben den gewollt abgetrennten Fraktionen gibt es auch eine erhebliche Menge an Bandabstreifmaterialien, welche dem Prozess erneut zugeführt werden können. Aus der Vielzahl an Transportbändern und Auffangboxen resultiert ein erhöhter logistischer Aufwand.

Alle bisher durchgeführten Prozesse (Shreddern, Sortieren) sind so genannte *kalte* Prozessschritte. Die hierbei abgesaugten und im Filterhaus separierten Materialien haben einen erheblichen Anteil an Aluminium. Der Fokus liegt in der Zukunft somit auf einer internen und effizienten Rückgewinnung von Aluminium aus diesen feinkörnigen Materialien. Der Vorteil des in den materialvorbereitenden Prozessschritten separierten Staubes ist der niedrige Oxidationsgrad der Metalloberfläche aufgrund der bis dahin fehlenden Wärmeeinwirkung auf das Material.

Da alle bis hierher separierten und bearbeiteten Materialien organische Bestandteile und Feuchtigkeit enthalten, ist eine weitere thermische Behandlung erforderlich, bevor das Material mit Flüssigmetall in Kontakt treten darf. Dabei erfolgt neben der zwingend erforderlichen Trocknung auch die Entfernung anhaftender und loser organischer Verunreinigungen. Ein besonderes Augenmerk liegt hierbei auf den Cold-Fines. Diese können aufgrund ihrer Beschaffenheit keiner herkömmlichen Entlackungsprozedur zugeführt werden. Zusätzlich ist die Materialoxidation aufgrund der großen freien Oberfläche bei einer thermischen Entlackung zu berücksichtigen. Weiterhin neigen feine Materialien bei der Aussetzung von Wärme sehr schnell zum sogenannten Thermiting (stark exothermen Reaktion), was die Prozesssteuerung und Prozesssicherheit erschwert.

Die thermischen Entlackungsanlagen spielen in den zukünftigen Recyclingwerken eine Schlüsselrolle zum effizienten Betrieb des Gesamtprozesses und können diesen maßgeblich beeinflussen. Die Aufgaben der Entlackungsanlagen sind:

- Entfernung anhaftender Organik,
- Trocknung und Vorwärmung der Materialien,
- Nachverbrennung der Schwelgase unter Berücksichtigung der Emissionsgrenzwerte,
- Wärmerückgewinnung aus den organischen Verunreinigungen.

Wichtig für eine zuverlässige Entfernung der organischen Bestandteile ist die freie Zugänglichkeit der Oberflächen. Als nachhaltig für den Gesamtprozess hat sich eine reduzierte Sauerstoffatmosphäre erwiesen, um die Oxidation der Metalloberflächen zu minimieren. Der reduzierte  $O_2$ -Gehalt hat jedoch zur Folge, dass die Prozesstemperaturen erhöht werden müssen und somit die Gefahr des Entzündens insbesondere von magnesiumreichen Materialien besteht. Dies kann sowohl im Prozess selbst als auch beim Ausschleusen der Materialien kritisch sein. Eine Entzündung (Thermiting) stellt erhebliche Sicherheitsrisiken dar. Solche Reaktionen sind nur schwer zu stoppen und können aufgrund der sehr hohen Temperaturen zu erheblichen Anlagenschäden führen.

Aktuelle und auch zukünftige Herausforderung bestehen u.a. darin, auf Qualitätsschwankungen zwischen einzelnen Schrottchargen zu reagieren. Die wichtigsten Qualitätsindikatoren für diesen Prozessschritt sind somit der Feuchtigkeitsgehalt und der Organikgehalt im zugeführten Materialstrom. Große Unterschiede v.a. im Organikgehalt

gibt es zwischen *neuem* und *altem* Schrott. Unter *neuem* Schrott verstehen sich Produktionsabfälle, die ihrer eigentlichen Verwendung noch nicht zugeführt wurden. *Alte* Schrotte ist die Zusammenfassung für Materialien, welche ihren Lebenszyklus bereits durchlaufen haben (post consumer scrap). Die Schwankungen beim Organikgehalt von UBC-Material können somit zwischen etwa 3 % und > 10 % liegen. Zusätzlich zu diesen Schwankungen erschweren auch variierende Feuchtigkeitsgehalte (< 1 % bis > 10 %) in verschiedenen Chargen die Regelung des Prozesses. Während die zusätzliche Organik den Energiegehalt im System drastisch erhöht, entzieht die Zufuhr von Feuchtigkeit dem System große Energiemengen. Beide Faktoren wirken sich somit unterschiedlich auf die Entlackungsqualität und den spezifischen Energieverbrauch für diesen Teilprozess aus. Neben den beschriebenen Hürden ist die sinnvolle Nutzung der aus diesem Prozess resultierenden Energieüberschüsse ein zukünftiges Ziel – z.B. Vorwärmung von Festmetall, Heizen von Gebäuden oder Wasser. Aus prozesstechnischer Sicht sind sowohl energetische Schwankungen als auch Differenzen in der Materialstärke schwer zu handhaben. Da Schrotte mit einer sehr niedrigen Materialstärke (< 0,2 mm) eine wesentlich geringere Verweilzeit im Entlackungssofen benötigen als Materialien mit einer Stärke deutlich über 0,2 mm. Somit ist für die Prozessführung eine möglichst sortenreine Materialchargierung von Vorteil. Eine nicht optimale thermische Schrottvorbehandlung kann erhebliche Nachteile im nachfolgenden Einschmelzprozess der Schrotte haben. Diese wären:

- verringerte Schmelzrate durch zu geringe Vorwärmung der Schrotte,
- vermehrte Krätzebildung durch nicht optimal entfernte organische Bestandteile,
- erhöhte Krätzebildung durch erhöhte Metalloxydation, bedingt durch Übertemperaturen oder zu hohe Sauerstoffgehalte.

### 1.2. Schmelzprozess

Im Herzstück eines vollintegrierten Aluminium-Recyclingwerks, der Schmelzerei, müssen Rohmaterialien mit den verschiedensten Eigenschaften effizient verarbeitet werden können. Sie hat daher einen maßgeblichen Einfluss auf die Materialausbeute. Somit sind bereits bei der Planung bzw. bei der Erweiterung eines Schmelzwerks Kenntnisse über die Eigenschaften der verschiedenen Materialströme essenziell. Neben den extern zu erwartenden Materialanlieferungen stellen die intern anfallenden Fraktionen eine besondere Herausforderung dar und sind unbedingt zu berücksichtigen. Die intern anfallenden Fraktionen können die Materialausbeute im Bereich von mehreren Prozentpunkten beeinflussen. Verdeutlicht wird dies durch Bild 3. Im Werk Nachterstedt konnte ab dem 3. Quartal 2016 die Gesamtmaterialausbeute erhöht werden. Die Steigerung beträgt im Mittel 3,6 Prozentpunkte. Diese signifikante Veränderung wird erreicht, indem Hot Fines und Krätze aus den Halteofen intern zurückgeführt werden. Bei den Hot Fines handelt es sich um Bandabstreifmaterialien und ausgesiebte Materialien nach dem Entlackungsprozess (Decoating) mit einer Korngröße < 10 mm. Beide Materialströme gehörten bis zum Zeitpunkt der internen Rückführung zu den mengenmäßig größten Fraktionen, die extern umgearbeitet wurden. Diese Darstellung soll verdeutlichen, welches Potential im internen Schließen von Materialkreisläufen steckt.

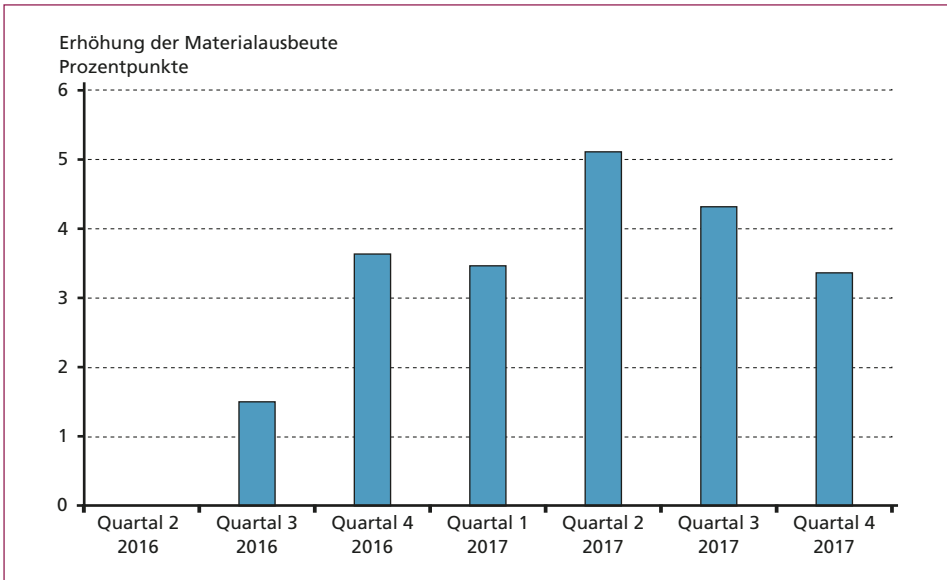


Bild 3: Erhöhung der Gesamtmaterialausbeute im Werk Nachterstedt; Basis sind Materialausbeuten im 2. Quartal 2016

Beim Einschmelzen des Materials sind neben der Effizienz natürlich die Sicherheit und die Qualität zu beachten. Alle Materialien müssen vor allem bei kontinuierlich arbeitenden Schmelzöfen vor dem chargieren und dem Kontakt mit Flüssigmetall getrocknet und von Organik befreit werden.

Die größte Herausforderung sind dabei die stark unterschiedlichen spezifischen Oberflächen der üblichen bzw. zu erwartenden Input-Materialien. Für viele Schrottarten ist es ratsam ein direktes Einwirken der Brennerflammen zu vermeiden und das zu schmelzende Material direkt unter die Oberfläche des Schmelzbades im Ofen zu bringen. Nach C. Schmitz [1] eignen sich dazu vor allem Seitenkammeröfen. Zum unterrühren in den Seitenkammeröfen eignen sich Injektionslanzen, das Einbringen durch einen Vortex oder das manuelle unterrühren. Eine weitere Problematik ist das Aufbrechen der Oxidhäute, welche sich auf den Oberflächen der chargierten Materialien befinden. Dies ist hauptsächlich durch hohe Strömungsgeschwindigkeiten in der Schmelze möglich [2]. Aufgrund der hohen spezifischen Oberfläche dieser Schrotte sind erhöhte Mengen an Krätze zu erwarten, welche den Schmelzprozess negativ beeinflussen. Die Krätzeschicht behindert zum einen das Einbringen der Feststoffe zum anderen wird der Wärmeübergang in die Schmelze behindert. Die Effektivität des Schmelzofens nimmt ab. Daraus resultiert auch die prozesstechnische Schwierigkeit, die Krätzebildung zu minimieren und bestmöglich zu kontrollieren.

Materialarten mit einer geringen spezifischen Oberfläche sind weitaus weniger kritisch zum chargieren. Es sind geringere Schmelzverluste zu erwarten. Bei diesen Materialien handelt es sich hauptsächlich um interne Produktionsabfälle (Sägeschrotte und Barrenschrotte), Prime (Sow's und T-Barren) oder um extern zugekaufte Barrenschrotte.

Diese Materialien müssen aus Gründen der Sicherheit vor dem chargieren in die Hauptkammer eines Schmelzofens zwingend vorgetrocknet werden. Neben diesen typischen Materialien aus einem Aluminium-Recyclingwerk fallen jedoch auch Produktionsabfälle aus nachfolgenden Prozessen an. Dabei handelt es sich unter anderem um Coil's, Laser-Bleche und Stanzabfälle (z.T. paketierte). Diese Materialien sind u.a. aufgrund ihrer Dimension und Stabilität schwer zu handhaben. Abhängig vom Verarbeitungsschritt bei dem diese Schrotte anfallen, können sie eine geringe Materialstärke aufweisen und mit Organik behaftet sein. Ein weiterer Chargierweg wird erforderlich. Diese Eigenschaften können zu ungünstigen Ausbeuterisultaten führen, wenn sie einer direkten Flammeneinwirkung ausgesetzt sind oder schlecht von anhaftender Organik befreit wurden.

Dementsprechend sind in einem modernen Aluminium-Recyclingwerk verschiedenste Chargierwege für die unterschiedlichen Rohstoffeigenschaften essenziell, um eine möglichst optimale Materialausbeute zu erzielen und somit auf zukünftige Änderungen in den Rohstoffeigenschaften reagieren zu können. Zusammenfassend lassen sich folgende Punkte nennen, die nötig sind um eine große Bandbreite an Materialien verarbeiten zu können:

- Vermeidung direkten Flammeneinwirkung auf chargierte Materialien,
- schnelles Einbringen des Materials in und unter die Schmelze,
- hohe Strömungsgeschwindigkeit zum *Aufbrechen* der Oxidschichten,
- Möglichkeit zum Chargieren organikbehafteter Materialien.

Neben einer Optimierung der Chargierwege und -möglichkeiten für eine stetig steigende Anzahl an Materialien mit verschiedenen Eigenschaften wird zukünftig die Beeinflussung und Minimierung der Krätzebildung an Bedeutung gewinnen. Denn der Schmelzverlust wird primär durch diese beeinflusst. Neben dem Schmelzverlust hat die sich bildende Krätzeschicht noch erheblichen Einfluss auf den Energieverbrauch eines Schmelzofens. Eine Reduktion der Metalloxidation im Ofen reduziert somit die Türöffnungszeiten für Abkrätzvorgänge, den spezifischen Energieverbrauch und die Schmelzverluste.

Weiteres Optimierungspotential im Bereich der Schmelzerei besteht hinsichtlich der Automatisierung vieler Teilprozesse und optimierte Messverfahren für verschiedene Ofenzustände. Das reicht von einer Online-Analyse der Ofenchemie in Zusammenhang mit einer automatisierten Legierungsmittelzugabe bzw. Lenkung der zu chargierenden Schrottchargen – z.B. Erhöhung der Zugabe an 5xxx Materialien anstelle der Legierung von Mg – bis hin zu einer zuverlässigen Füllstandsanzeige um die Chargen verschiedener Schmelzöfen im richtigen Verhältnis zuverlässig und genau verschneiden zu können. Weiterhin spielt gerade bei der Verarbeitung von Schrotten mit unterschiedlichen Verunreinigungsgraden die Schmelzebehandlung eine wichtige Rolle. Durch eine automatisierte Schmelzebehandlung ggf. in Abhängigkeit von den chargierten Materialien bzw. der aktuellen Qualität der Schmelze im Ofen könnten die Schmelzebehandlungsprozesse in der Gießlinie maßgeblich entlastet und die Produktqualität entschieden gesteigert werden. Ein möglicher Vorteil hierbei wären längere Standzeiten

bei den Filtermaterialien. Die Steigerung des Automatisierungsgrades erhöht nicht nur die Sicherheit für die Mitarbeiter, da der direkte Umgang mit Flüssigmetall reduziert wird, sie kann auch die Nachhaltigkeit des Gesamtprozesses entscheidend steigern – z.B. minimierter Einsatz von Legierungselementen und Primäraluminium.

Der Fokus für den Schmelzprozess liegt somit darauf die Schmelze mit folgenden Eigenschaften zu überführen, um die Turnaround-Zeiten im Gießprozess auf ein Minimum zu reduzieren.

- On Time
- On Specification
- On Temperature
- On Amount

### 1.3. Gießprozess

Ein wichtiges Ziel im Gießprozess ist die weitere Steigerung der Sicherheit. Möglich wird dies hauptsächlich durch stetige Verbesserung der Automation inkl. Sensorik und Messtechnik. Mit modernen Gießautomatationen ist bereits heute ein 100 prozentiges *Hands-Off* Casting möglich. Dabei werden unter anderem der Metallfüllstand in der Kokille, die Wasserzugabe, die Gießgeschwindigkeit und die Metalltemperatur durch eine Automation gesteuert. Trotz dieser Technik kann es zu Gießabbrüchen kommen. Die Reduktion von Abbrüchen bzw. die frühzeitige Erkennung gießabbruch-provozierender Situationen steigert die Sicherheit enorm. Dazu kann z.B. eine Online-Curlingmessung oder eine frühzeitige Risserkennung in den Barren beitragen. Neben dem Zugewinn an Sicherheit könnte die Produktion von Schrott drastisch reduziert werden. Auch die Reduktion technischer Gase (z.B. Ar, Cl) bzw. das Finden von Alternativen für deren Verwendung steht im Fokus zukünftiger Entwicklungen, denn neben dem Gewinn an Sicherheit kann auch die ökologische Nachhaltigkeit gefördert werden.

Als weitere Herausforderung im Bereich des batchweise betriebenen Stranggusses ist die Reduktion von Rüstzeiten durch technische Weiterentwicklung verschiedener Anlagenteile zu nennen. Zum einen betrifft dies die Kokillenentwicklung, welche nach jedem Guss erneut präpariert werden muss. Dabei sind Standardtätigkeiten wie schleifen, ölen oder polieren durchzuführen. Die Qualität dieser Tätigkeiten trägt maßgeblich zu einem erfolgreichem *Hands-Off* Casting bei. Auch verstellbare Kokillen erlauben eine höhere Flexibilität und schnellere Produktwechsel. Zum anderen betrifft dies unregelmäßig durchgeführte Tätigkeiten wie den Wechsel des Gießtisches, den Wechsel von Filterboxen bzw. Filtermaterialien oder das Spülen von Filter- und Entgasungseinheiten nach einem Legierungswechsel. Längere Standzeiten einzelner Anlagenteile (z.B. Filtermaterialien) würden die Produktivität und Sicherheit im Prozess erhöhen.

Ähnlich wie bei den Schmelzöfen ist natürlich auch die Reduktion der Metalloxidation und somit die Krätzbildung ein wichtiger Prozess. Des Weiteren steht die Abfallreduktion bzw. die interne Aluminiumrückgewinnung im Fokus. Dabei handelt es sich hauptsächlich um Aluminium, welches in genutzten Filtermedien oder Combo-Bags



enthalten ist. Aber auch die metallreiche Krätze aus dem Gießofen kann dem Schmelzofen zugeführt werden, um die Metallausbeute zu erhöhen. Entscheidend für den Erfolg der Rückführung ist der Umgang mit den Materialien/Fractionen im Schmelzofen

Aus energetischer Sicht ist die schnelle Verarbeitung des Metalls sehr wichtig, um lange Warmhaltezeiten zu vermeiden. Dazu sind die bereits erwähnten Rüstzeiten von erheblicher Bedeutung. Aber auch die Wärmerückgewinnung aus dem Kühlwasser und Nutzung dieser Energie ist wichtig. Problematisch dabei ist vor allem das geringe Energieniveau des heißen Kühlwassers, welches Temperaturen von  $< 100\text{ }^{\circ}\text{C}$  hat. Somit sind die Nutzungsmöglichkeiten stark eingeschränkt.

## 2. Zusammenfassung

Die derzeitigen Anforderungen sowie die zukünftigen Ziele sind somit sehr vielfältig und bestehen darin, die Anlagensicherheit weiter zu erhöhen, die Ausbeute zu maximieren und die Energieverluste primär durch Wärmerückgewinnung zu verringern. Im nachfolgenden Bild 4 sind die mit Herausforderungen verbundenen Energie- und Materialströme zwischen den einzelnen Bereichen dargestellt.

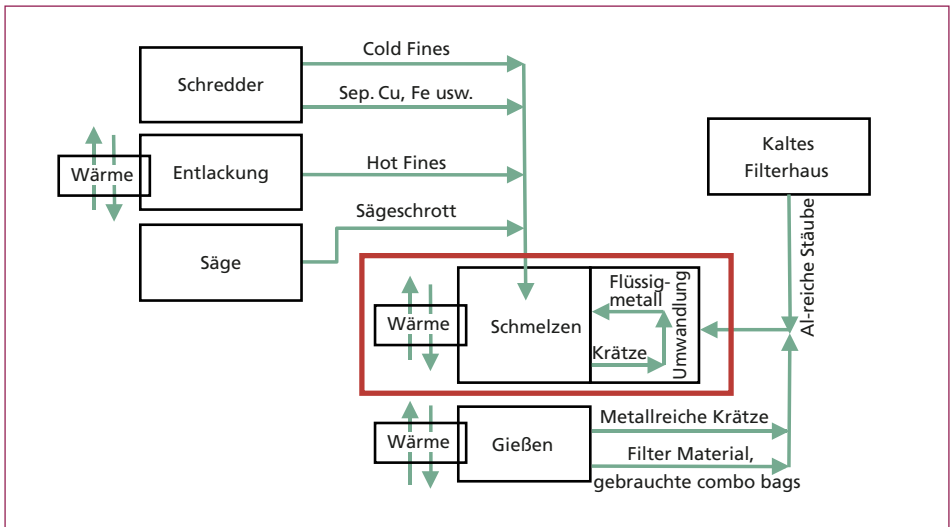


Bild 4: Zusammenfassende Darstellung an Material- und Energieströmen über die verschiedenen Prozessgruppen in einem vollintegrierten Aluminiumrecyclingwerk

Die Herausforderungen unterscheiden sich thematisch von den verschiedenen Prozessabschnitten. Während es im Shredding, Decoating und im Melting mehr um die Abfallreduktion und eine nachhaltige Materialrückführung geht, werden im Casting effizientere Vorbereitungsprozesse und Techniken von Bedeutung sein, um die Rüstzeiten der Anlagen zu minimieren. Eine zentrale Rolle spielt dabei der Schmelzbereich, denn hier müssen zukünftig mehr und mehr schwierig einzusetzende Materialien effizient verarbeitet werden können (z.B. aluminiumhaltige Stäube oder Cold Fines).

Die Schmelze muss entsprechend der in Abschnitt 1.2. dargestellten Anforderungen aufbereitet sein. So können der Schmelzbetrieb und die vorgelagerten Prozesse kontinuierlich ablaufen, während die nachgeschalteten Aggregate im Batchbetrieb gefahren werden. Die Funktionalität der Schmelzöfen ist somit essenziell für einen reibungslosen Ablauf im Gesamtprozess.

Für alle Prozessschritte gibt es einige Herausforderungen im Bereich Messtechnik, Prozessautomation und im automatisierten Materialmanagement. Durch Optimierungen in diesen Bereichen ist es möglich die Sicherheit weiter zu erhöhen und die Nachhaltigkeit der Prozesse stetig zu steigern (z.B. minimierter Verbrauch an Primärrohstoffen). Aber auch im Bereich der Energieeinsparungen sind innovative Entwicklungen gefragt, die über regenerative Brennersysteme oder Nutzung von Abwärme zum Heizen von Gebäudeteilen oder Wasser hinausgehen. Ziel ist somit eine kontinuierliche Reduktion der spezifischen Energieverbräuche in allen Prozessschritten.

Die zukünftigen Anforderungen sind somit die Mengen an extern zu verarbeitenden und zu entsorgenden Materialströme stetig zu reduzieren und nicht intern rückführbare Materialströme in externe Recyclingprozesse zu führen. Des Weiteren steht die sukzessive Senkung der spezifischen Energieverbräuche im Fokus.

### 3. Literatur

- [1] GDMB: NE-Metallrecycling – Grundlagen und aktuelle Entwicklungen. Clausthal-Zellerfeld: GDMB Medienverlag, 2008
- [2] Schmitz, C.; Domagala, J.; Haag, P.: Handbook of Aluminum Recycling. Essen: Vulkan-Verlag GmbH, 2006

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar

Stephanie Thiel • Elisabeth Thomé-Kozmiensky • Daniel Goldmann (Hrsg.):  
**Recycling und Rohstoffe – Band 11**

ISBN 978-3-944310-40-4 Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH

Copyright: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc., Dr.-Ing. Stephanie Thiel  
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH • Neuruppin 2018

Redaktion und Lektorat: Dr.-Ing. Stephanie Thiel, Dr.-Ing. Olaf Holm,  
Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc.

Erfassung und Layout: Claudia Naumann-Deppe, Janin Burbott-Seidel, Sandra Peters,  
Ginette Teske, Cordula Müller, Gabi Spiegel

Druck: Universal Medien GmbH, München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funk- sendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.