

Untersuchung von Methoden zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz des Recyclings organik-kontaminierter Aluminiumschrotte

M. Philipp, H. Bruns, N. Schmitz, H. Pfeifer

08. Oktober 2021



3. Aachener Ofenbau- und Thermoprozess-Kolloquium 7. und 8. Oktober 2021





Einführung

- Der Recyclingprozess von Aluminium weist deutliche energetische Vorteile gegenüber der Primärroute auf
- Aluminiumschrotte sind häufig organisch kontaminiert, z.B. durch Lacke oder Schmierstoffe.
- Ineffizienz des Recyclingprozesses durch anhaftende Organik
 - unkontrollierte Freisetzung gasförmiger Kohlenwasserstoffe
 - erhöhter Metallverlust
 - unzureichende energetische Nutzung dieser Gase
- Problematik wird im Zuge eines BMWi-Projekts eingehender untersucht





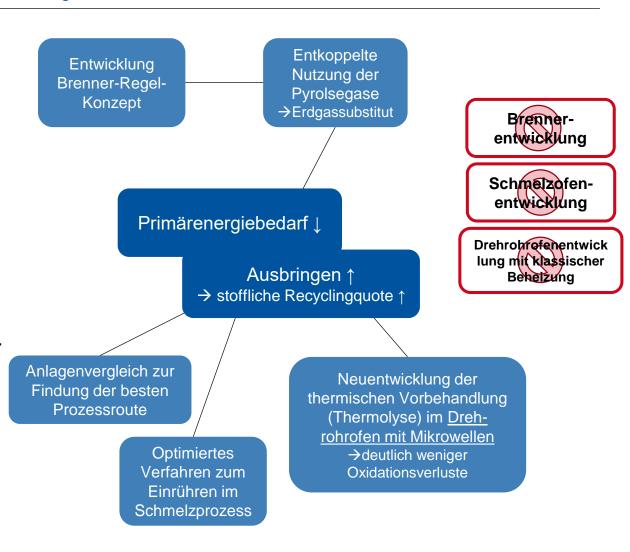






Motivation und Ziele des Projekts

- Optimierung der Recycling Prozesskette
 - Therm. Vorbehandlung
 - Schmelzprozess
 - Nutzung Pyrolysegas
- Gesteigerter Einsatz von organik-kontaminiertem Aluminiumschrott bei gleichbleibender Produktqualität
- Verständnis von Krätzebildung











Umsetzung



Untersuchungen der Thermischen Vorbehandlung

- thermische Zersetzung der Organik unter Abschluss/Mangel von Sauerstoff
- Drehrohrofen mit indirekter Beheizung (widerstands- und mikrowellen-beheizt)
- Pyrolysegasanalyse



Untersuchung des Schmelzprozess

- verschiedene Ofentypen (Kammerofen, Induktionstiegelofen)
- verschiedene Rührmethoden (induktiv, Impeller, EMS)
- verschiedene Aluminiumschrotte (geschredderte UBC's, Frässpäne)

Untersuchung des Verbrennungsprozess

- Verbrennungsversuche an ausgewählten LCV-Gasen:
 - im FLOX®-Betrieb
 - mit linearer Änderung der Gaszusammensetzung
- Entwicklung eines Brenner-Regel-Konzepts, welches auf industriellen Maßstab implementiert werden kann





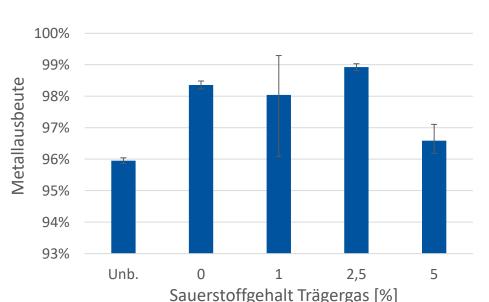




Thermische Vorbehandlung – konventionelle Beheizung

widerstandsbeheizter Drehrohrofen:

- Trägergas: Gegenstrombetrieb
- Automatisches Chargiersystem: Vibrofeeder und Chargierschnecke
- Temperaturmessung:
 - Verbautes Thermoelement zur Ofensteuerung
 - Geführtes Thermoelement in der Rohrmitte (Typ K



Ing (Typ K)		
Parameter		
Temperatur	570 °C (540 – 570 °C)	
Rotation	4 U/min	
Neigung	6 °	
Materialdurchsatz	1,26 kg/h	
Aufenthaltsdauer	~ 20 min	
Trägergasdurchfluss	5 l/min	
Gasdurchfluss FTIR	2 l/min	





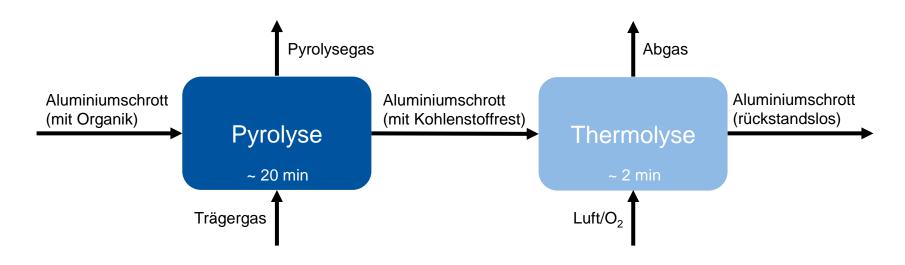




Thermische Vorbehandlung – Kombination Pyrolyse & Themrolyse

Unabhängig von der Anwesenheit von Sauerstoff, bildet sich bei der thermischen Zersetzung der Organik ein Kohlenstoffrückstand

- Kohlenstoffabbrand findet auch nach Abkühlung und Wiedererwärmung der pyrolysierten Probe statt
- kombinierter Prozess aus Pyrolyse und Thermolyse
- höherkalorisches Gas aus der Pyrolyse und minimale Oxidation des Aluminiums, sowie eine fast vollständige Entfernung der Kohlenstoffreste in der Thermolyse

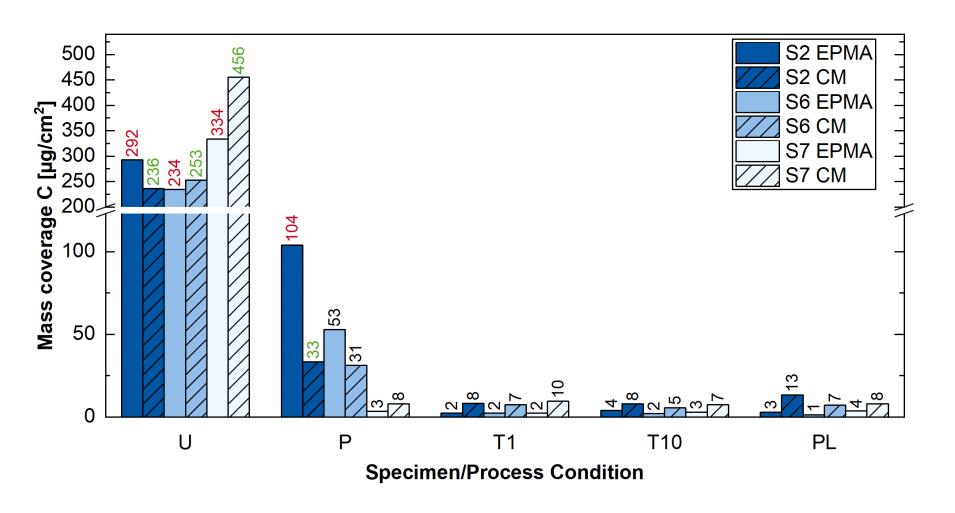








Thermische Vorbehandlung – Massendeckung

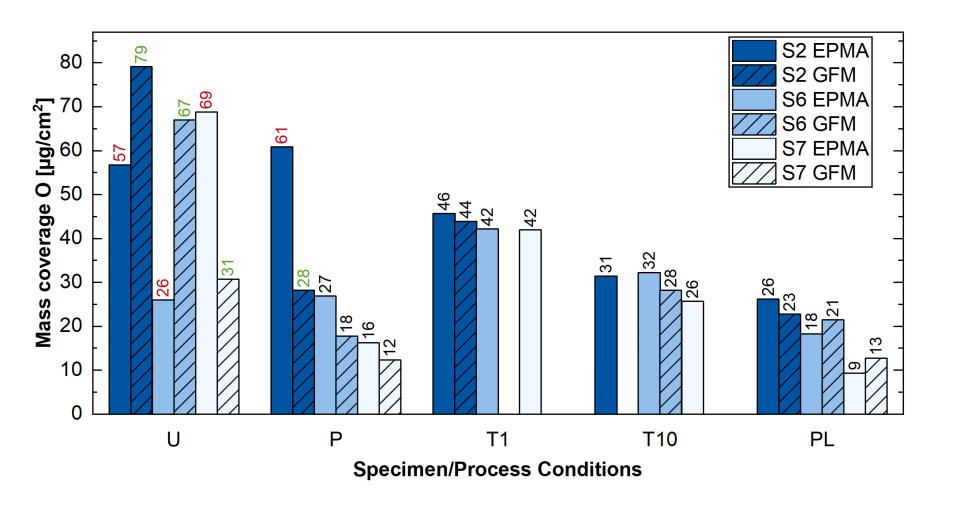








Thermische Vorbehandlung – Massendeckung









Schmelzprozess – Übersicht

	Hochfrequenz Induktionstiegelofen	Einkammerherdofen
Füllmenge	600 kg	5 t
Leistung	200 kW	720 kW
Beheizung	Induktion	Erdgas
Rührung	Induktiv	Impeller
Einsatzmaterial	Späne (aufbereitet) Späne (pyrolysiert) Späne (brikettiert) UBC (thermolysiert)	Späne (intern) Späne (pyrolysiert)
Schmelzausbeute	91,7 – 102,4 %	93,1 – 99,0 %
Wirkungsgrad	33,8 – 46,7 %	21,1 – 29,7 %







Schmelzprozess – Induktionstiegelofen









Schmelzprozess – Induktionstiegelofen

Späne (gewaschen)



UBC (thermolysiert)



Späne (pyrolysiert)



Briketts



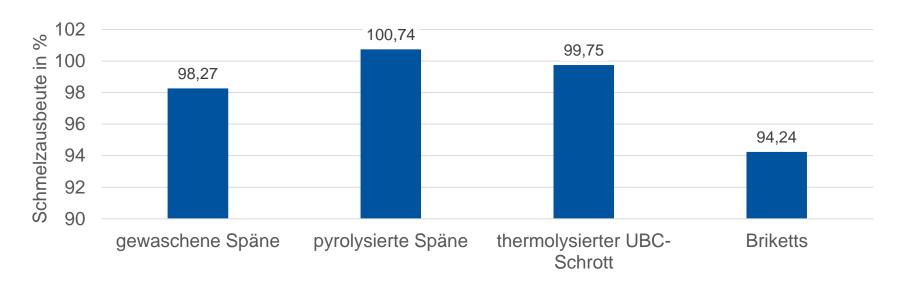
Gefördert durch:







Schmelzprozess – Massenbilanz Induktionstiegelofen







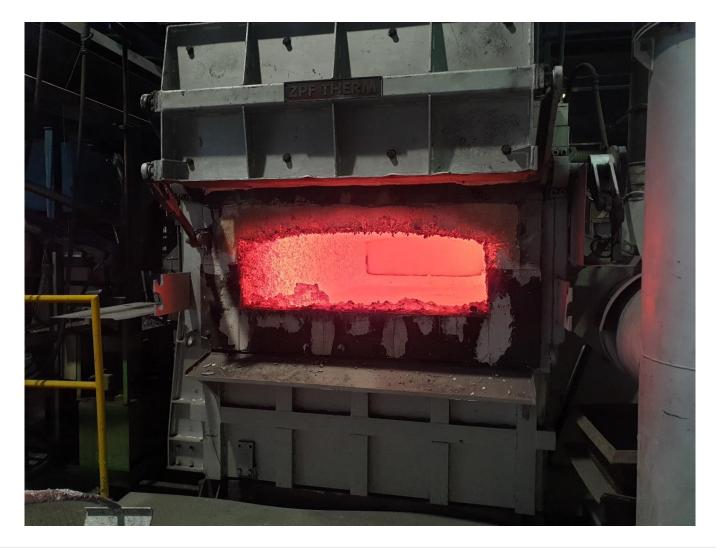








Schmelzprozess – Eikammerherdofen









Schmelzprozess – Eikammerherdofen



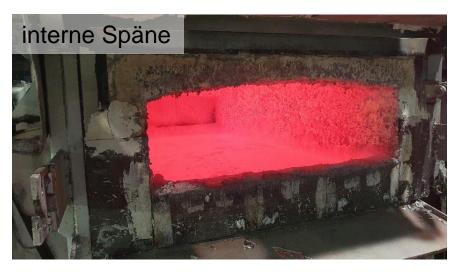


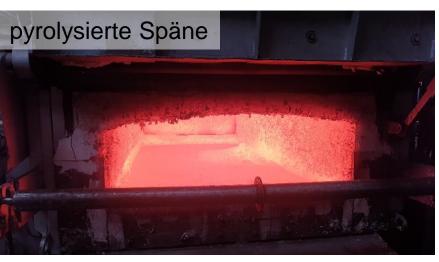


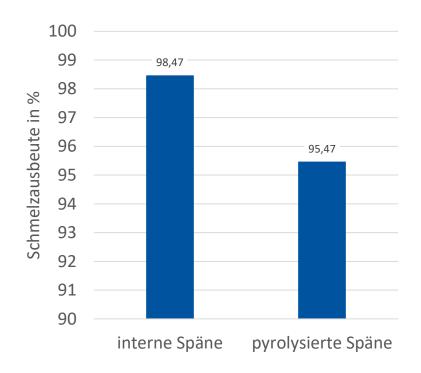




Schmelzprozess – Massenbilanz Einkammerherdofen





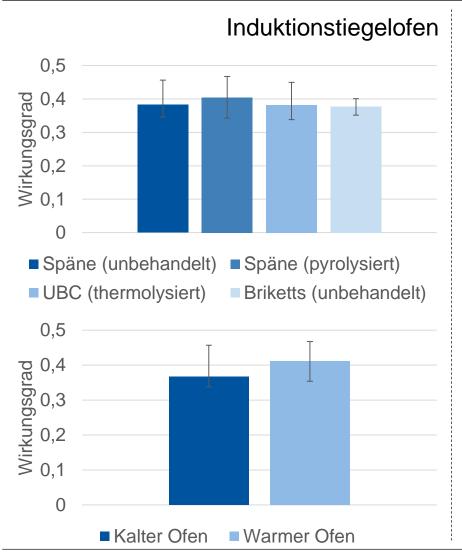




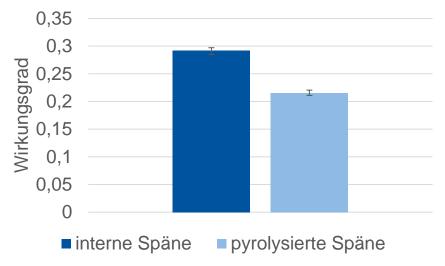




Schmelzprozess – Energiebilanz



Einkammerherdofen

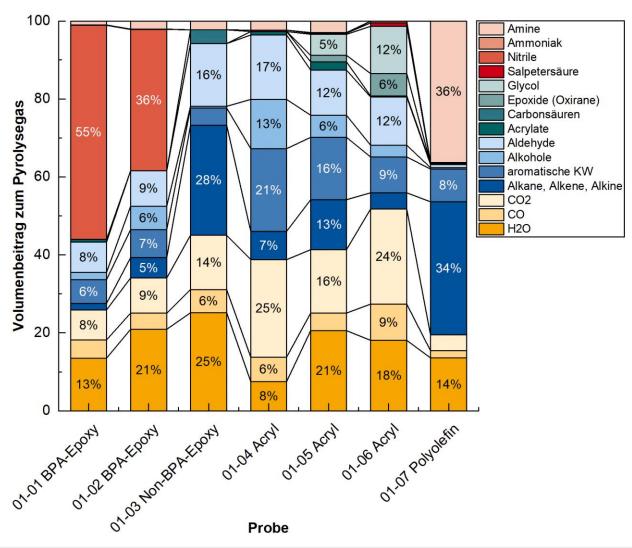








Verbrennungsprozess – Pyrolysegaszusammensetzung



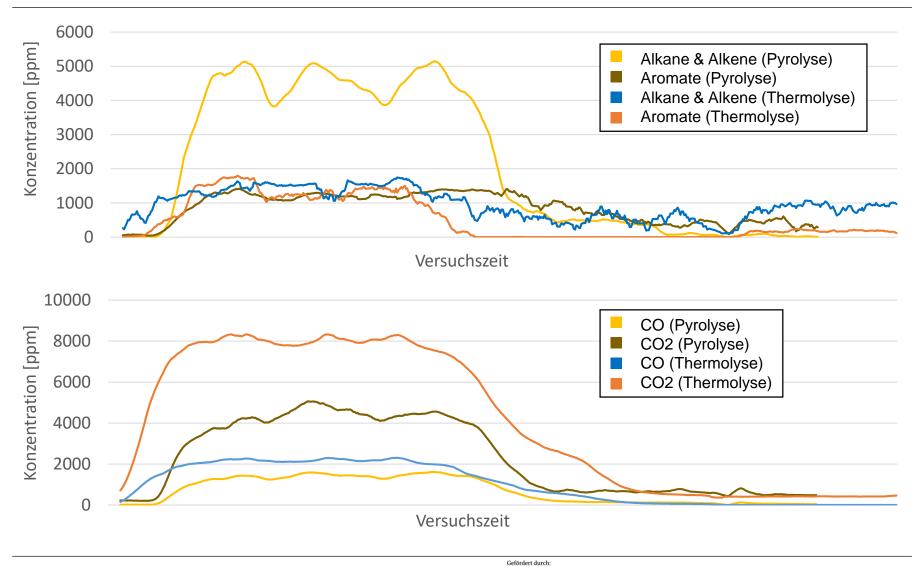








Verbrennungsprozess – Pyrolysegaszusammensetzung





und Energie



Verbrennungsprozess – Brenner-Regel-Konzept

- Flammenlose Oxidation
 - Zündfähigkeit gewährleistet; Prozesstemperatur > 850 °C
- Gezielte Beimischung von Gaskomponenten
 - Schwankungen im Pyrolysegas abfedern; konstante Leistung und Wobbe-Index
- Gasanalyse der Pyrolysegase
 - Bestimmung des tatsächlichen Sauerstoffbedarfs



Verbrennungsversuche auf Labor- und Industriemaßstab

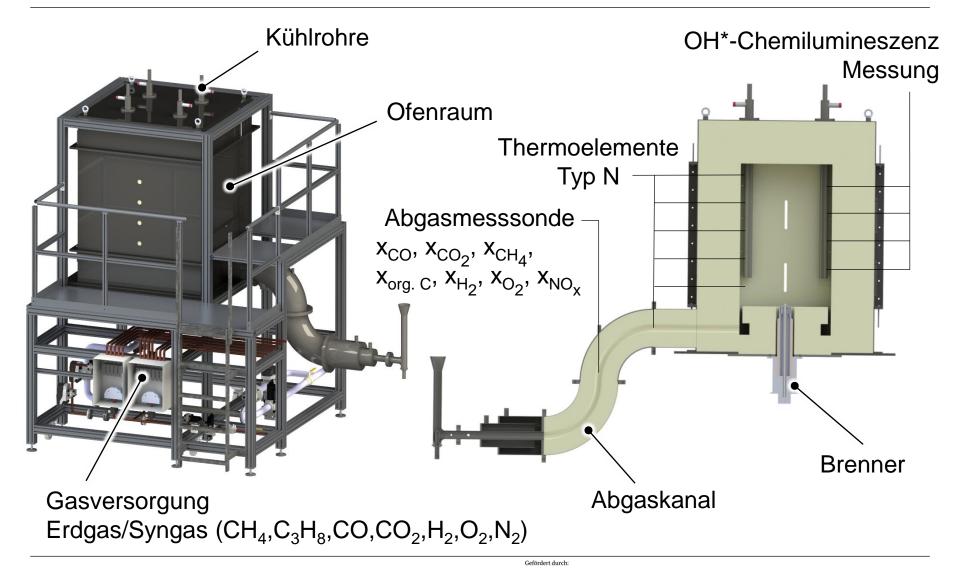
Ziel ist ein Brenner-Regel-Konzept, welches die Pyrolysegase stabil und vollständig verbrennt, sowie Schwankungen in der Gaszusammensetzung kompensieren kann. Das Brenner-Regel-Konzept soll außerdem auf industriellen Maßstab implementierbar sein.







Verbrennungsprozess – Versuchsstand IOB









20

Verbrennungsprozess – Versuchsstand IOB











Zusammenfassung

- optimale Prozessführung der Thermischen Vorbehandlung gefunden
 - Kombination aus Pyrolyse und Thermolyse
 - Mikrowellentechnik als alternative Beheizungsmethode
- Organik und Kohlenstoffrückstände verursachen einen merklichen Verlust in der Schmelzausbeute
- Vergleich Induktionstiegelofen Einkammerherdofen
 - Induktionstiegelofen weist bessere Energie- und Massenbilanz auf
 - Suche nach weiteren bilanzierbaren Öfen
- Pyrolysegase können einen großen Teil der benötigten Schmelzleistung decken
 - Pyrolyse liefert einen höheren Heizwert der Schwelgase
- Entkopplung von Thermischer Vorbehandlung und Schmelzprozess







Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Marius Philipp, M.Sc.
Institut für Industrieofenbau und Wärmetechnik
RWTH Aachen University
Kopernikusstr. 10, 52074 Aachen
www.iob.rwth-aachen.de
philipp@iob.rwth-aachen.de
+49 241 80 25940



