

Neue Herausforderungen in der thermischen Verfahrenstechnik

Christian Klaus¹, Dr. Karl Wegner¹, Thomas Rammelt¹, Dr. Matthias Ommer¹

Ibu-tec ist ein Experte für die thermische Behandlung von Materialien in Drehrohröfen und Pulsationsreaktoren. Mit seinen Leistungen bietet das Weimarer Unternehmen seit über 40 Jahren Unterstützung bei der Entwicklung im Labor über das Scale-up bis zur Lohnfertigung in industriellen Mengen und stellt sich zudem komplexen Aufgaben beim Wertstoff- und Abfallrecycling.

Die Entwicklung von neuen Materialien spielt, wie die Optimierung bereits bestehender Produkte, eine bedeutende Rolle für unsere ökonomische Weiterentwicklung. Spezifische Endanwendungen verlangen nach präzise definierten Materialeigenschaften, die oft nur aufwendig zu erreichen sind. Eine große Herausforderung ist dabei die Skalierung von Laborsynthesen in den Produktionsmaßstab unter Beibehaltung der gewünschten Materialeigenschaften, was oft zeit- und kostenaufwendig ist.

Ein Verfahren, auf welches das in besonderem Maße zutrifft, ist die Flammensprühpyrolyse. Die Höhe der Investition in die Entwicklung und den Unterhalt einer Produktion, die über Labormengen hinausgeht, macht eine Skalierung und Weiterführung von Projekten oft unattraktiv, obwohl sie unter Beibehaltung der Eigenschaften vielversprechend ist. Die wenigen existierenden, industriell genutzten Anlagen stehen für kleine Produktionsmengen und Entwicklungsprojekte üblicherweise nicht zur Verfügung.

Eine Möglichkeit, ein solches Scale-up durchzuführen, sind Pulsationsreaktoren. Diese können das Bindeglied zwischen einer Flammensprühpyrolyse im Labormaßstab und einer Produktion im Millionen-Tonnen-Maßstab sein.

Flammensprühpyrolyse

In der Flammensprühpyrolyse (FSP) wird eine organische Rohstofflösung (Präkursor) zu einem Aerosol versprüht und mittels einer Stützflamme entzündet. In der selbst-

erhaltenden Flamme bilden sich Nanopartikel, welche mit einem Filter aufgefangen werden [1] [2]. Typische Prozessparameter sind das Brennstoff/Sauerstoff-Verhältnis, die Präkursorkonzentration, der Dispersionsdruck und der Durchsatz.

Die Flammensprühpyrolyse neuer Materialien findet üblicherweise im universitären Umfeld statt, weshalb meist kaum Möglichkeiten zur Steigerung der Durchsätze bestehen. Demzufolge kann bestehendes Ent-

wicklungspotential nur unzureichend ausgeschöpft werden.

Pulsationsreaktor

Ein Pulsationsreaktor mit seiner pulsierenden Flamme beruht auf dem Prinzip des Flugstrom-Reaktors. Die Behandlung des Materials erfolgt in einem pulsierenden heißen Gasstrom in einem Verweilzeitbereich von wenigen Sekunden bei Temperaturen



Bild 1 Luftbild des Firmengeländes (© IBU-tec)

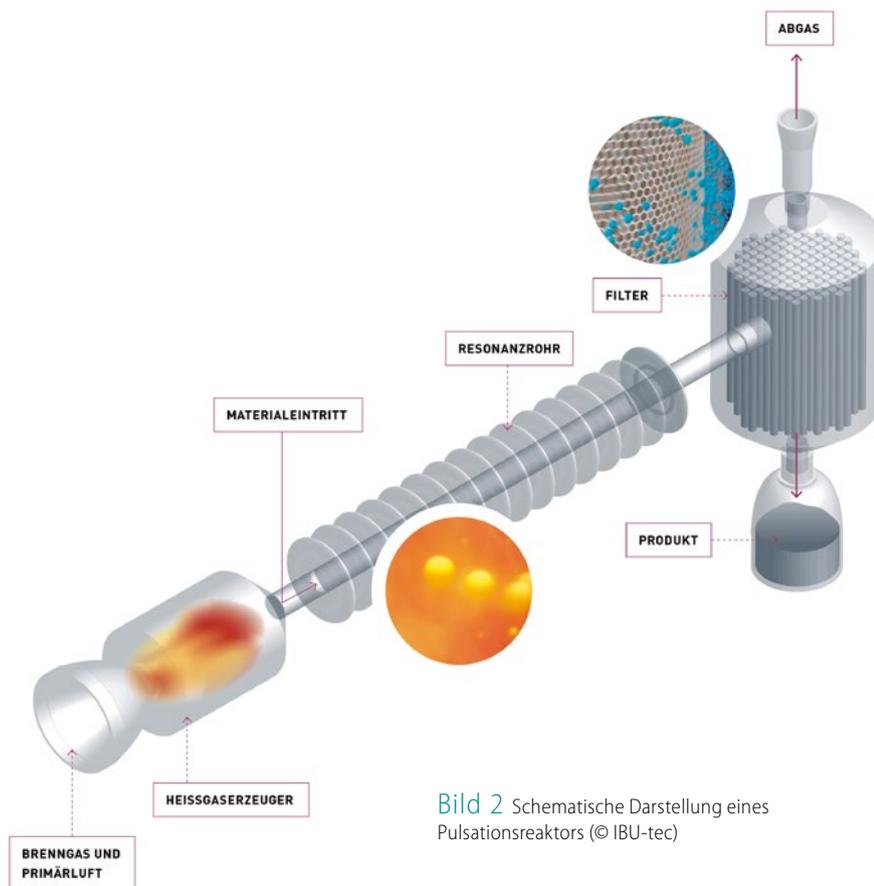


Bild 2 Schematische Darstellung eines Pulsationsreaktors (© IBU-tec)

zwischen 250 und etwa 1.300 °C. Die Materialaufgabe ist als Suspension, Lösung, oder Pulver möglich. Die wichtigsten Prozessparameter sind die Prozesstemperatur, die Druckamplitude der Pulsation, die Aufgabemenge, die Verweilzeit und die Frequenz der Pulsation. Ibu-tec verfügt über Pulsationsreaktoren verschiedener Größe, von modularen und flexiblen Pilotanlagen bis zu Produktionsanlagen (Bild 2).

Ein Gasgemisch wird in der Brennkammer entzündet. Der Überdruck wird in das Resonanzrohr entladen. Durch die Trägheit des ausströmenden Gasstromes entsteht in der Brennkammer kurzzeitig ein Unterdruck, welcher neuen Brennstoff ansaugt, der sich entzündet und den Teilprozess wiederholt startet. Abhängig vom Anlagen-design und den Parametern ist dieser Teilprozess der Ausgangspunkt der zugrundeliegenden Frequenz eines jeden Pulsationsreaktors, welche im Bereich von 1 bis 500 Hz liegt. Das Edukt wird beispielsweise in das

Reaktionsrohr eingebracht, dort erfolgt die thermische Behandlung während des Transportes im pulsierenden Gasstrom. Nach Austritt des Reaktionsgases aus dem Reaktionsraum wird durch Einbringen eines Kühlgases die Temperatur des Gasstromes reduziert, bevor das Produkt in einem Abgasfilter oder Zyklon separiert wird. [3]

Ein Vorteil der Pulsation ist das entstehende homogene Strömungsprofil, welches gleichmäßige Prozessbedingungen für alle Partikel zur Folge hat. Zusammen mit der exakten Ansteuerung der Temperatur während der Behandlung und der kurzen Verweilzeit können dadurch homogenere Produkteigenschaften im Vergleich zu herkömmlichen Flugstromreaktoren erzielt werden.

Die Behandlungstemperaturen in einer Flammensprühpyrolyse sind höher und die Verweilzeiten deutlich kürzer im Vergleich zum Pulsationsreaktor, doch bietet dieser die deutlich höhere Flexibilität bei der Wahl des

Eduktes. Im Pulsationsreaktor können heute Aufgabemengen bis zu 150 kg in der Stunde erreicht werden. Auch höhere Aufgabemengen sind technisch realisierbar, sodass wirtschaftlich relevante Mengen kostengünstiger produziert werden können.

Transfer der Flammensprühpyrolyse und Scale-up

Die Herausforderung bestand darin, einen Prozess, der mithilfe der Flammensprühpyrolyse entwickelt wurde, auf einen Produktionsmaßstab im Pulsationsreaktor zu skalieren. Dies konnte am Beispiel von Zirkoniumoxid nachgewiesen werden. Der Rohstoff war ein gelöstes organisches Zirkonium(IV)-Salz. Als Ausgangspunkt diente die Entwicklung eines Prozesses im Labormaßstab durch eine Flammensprühpyrolyse (ParteQ GmbH). Nach Erreichen der geforderten Produkteigenschaften folgte die Übertragung auf den Produktionsmaßstab im Pulsationsreaktor.

Durch Erhöhung der Konzentration in der Edukt-Lösung und einer etwa 13-fach erhöhten Aufgaberate, konnte im Vergleich zur Flammensprühpyrolyse schlussendlich eine etwa 20-fache Steigerung der Produktionsmenge pro Stunde erreicht werden. Für die Produkteigenschaften wurden mit einer Pilotanlage Werte im selben Bereich wie beim Vergleichsmaterial aus der Flammensprühpyrolyse erreicht – bei leicht erhöhter spezifischer Oberfläche sowie leicht geringerem Restkohlenstoffgehalt. Auch die kristalline Phasenzusammensetzung war vergleichbar. Die Charakterisierung der Partikel im Elektronenmikroskop zeigte eine sehr ähnliche Morphologie und Größenverteilung (Bild 3).

Zusätzlich zu den Vorteilen, die die Pulsationsreaktoren für die Produktion von nanoskaligen Pulvern mit sehr spezifischen Eigenschaften bringen, zeigt die vorgestellte Untersuchung, dass auch der Transfer von Flammensprühpyrolyse-Prozessen in den Produktionsmaßstab mit dieser Technologie möglich ist. Für die Entwicklung hochwertiger und innovativer Materialien wird so eine neue Perspektive für Mustermengen oder die wirtschaftliche Einführung eröffnet.

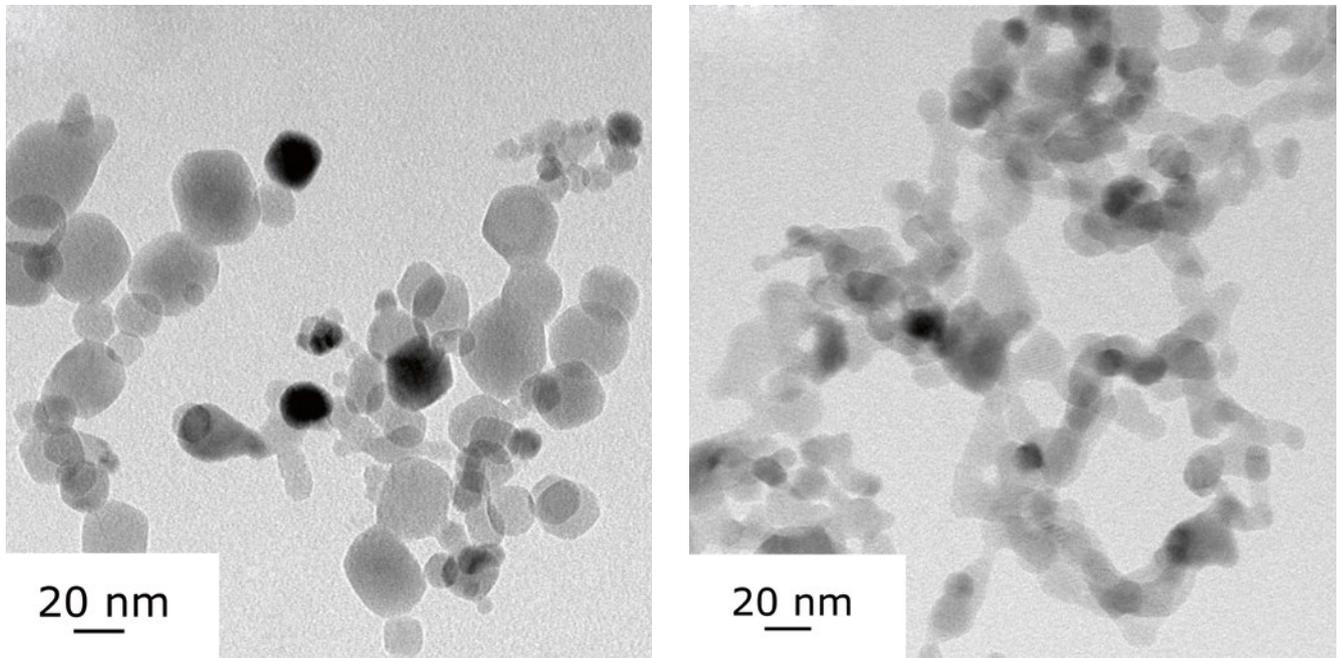


Bild 3 Transmissionselektronenmikroskop-Aufnahmen von ZrO_2 aus der Flammensprühyrolyse (links) und aus dem Pulsationsreaktor (rechts) (© IBU-tec)

Wertstoff- und Abfallrecycling im Drehrohrofen

Die Volkswirtschaften der Welt sind besonders bei geologischen Vorkommen von der Verfügbarkeit begrenzter Rohstoffe abhängig. Zudem gestaltet sich der Abbau immer schwieriger, wenn leicht erschließbare Vorkommen erschöpft sind – sei es durch wachsende technische Herausforderungen oder durch berechnete soziale oder ökologische Bedenken. Die Rückgewinnung von Wertstoffen sowie das Recycling von Abfällen treten somit zunehmend in den Fokus von Wirtschaft und Gesellschaft. Diese Entwicklungen stellen die Verfahrenstechnik vor neue Herausforderungen, da immer komplexer werdende Prozesse ökonomisch relevant werden.

Die sich ändernden wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen lassen nun Verfahren mehr in den Fokus von Unternehmen rücken, die zuvor nur als Randerscheinung oder als Forschungsprojekt betrieben wurden.

Ein bedeutendes Beispiel dafür ist das Recycling von Baumaterialien, etwa aus dem Abriss von Gebäuden oder dem Abbruch von Straßen – die als Substitute für die schwindenden, bisher genutzten Ressourcen dienen.

Ein besonderes Augenmerk liegt hierbei auf dem Gips. Durch den kommenden Kohleenergieausstieg wird die primäre Quelle von REA-Gips wegfallen, der bisher als Nebenprodukt in der Rauchgasentschwefelung anfiel – eine gravierende Versorgungslücke, die andernfalls nur durch massive Ausbeutung der verbleibenden, natürlichen Vorkommen geschlossen werden könnte. Die Wiederverwendung von Gips aus dem Abriss von Gebäuden bietet eine Lösung.

Auch die Minimierung von CO_2 -Emissionen, die bei der Produktion von Beton entstehen, ist ein solcher Anwendungsfall. Weltweit ist dies die größte Belastung durch eine einzelne Branche. Eine Steigerung des Anteils an recyceltem Beton als Zuschlagstoff bei der Umsetzung neuer Bauvorhaben könnte massiv zur Einsparung beitragen. Als weitere Beispiele sind die Regeneration von gebrauchten Katalysatormaterialien aus der chemischen Industrie oder auch das Recycling von Phosphor aus Klärschlamm zu nennen.

Recycling in Drehrohrofen und seine Herausforderungen

Die thermische Abfallaufbereitung stellt die Verfahrenstechnik vor anspruchsvolle Her-

ausforderungen, da ein breites Spektrum an Eigenschaften des Ausgangsmaterials abgedeckt werden muss. Klärschlamm zum Beispiel liegt als flüssig-pastöse homogene Masse vor, während der Schutt aus Straßen- oder Gebäudeabbrissen stückig und sehr inhomogen sowie in breiter Korngrößenverteilung auftritt. Des Weiteren liegen zusätzlich breite Schwankungen in der chemischen Zusammensetzung vor.

Im Resultat weist der Heizwert der zu behandelnden Reststoffe einen breiten Bereich auf, worauf bei Recyclingprojekten mit thermischer Behandlung geachtet werden muss. Die Wahl der Behandlungstechnik spielt somit eine entscheidende Rolle.

Für die thermische Behandlung von Reststoffen und Abfällen kommt vor allem der Drehrohrofen (Bild 4), die Wirbelschicht oder eine Rostfeuerung infrage. Unterschiede zeigen sich in der Eignung für unterschiedliche Aufgabematerialien.

Besonders wegen seiner Eignung für eine Vielzahl verschiedener Abfälle ist der Drehrohrofen eine gute Wahl. Die Behandlung stückiger Reststoffe, etwa von Baustoffen, ist genauso möglich wie das Ausbrennen von Klärschlamm. Die thermische Behandlung von einem so großen Spektrum an Materia-



Bild 4 Der direkt befeuerte Drehrohrfurnen GDO des Unternehmens (© IBU-tec)

lien kann weder mit der Wirbelschicht, noch mit einer Rostfeuerung erreicht werden.

Sofern die Randbedingungen im Rahmen von Engineering und Projektierung entsprechend gewählt und beachtet werden, können Drehrohrfurnen ein breites Spektrum von Recyclingprozessen abdecken, in dem auch schwankende Durchsätze unproblematisch behandelt werden können. Die Rostfeuerung zeigt ähnliche Vorteile, eine Wirbelschicht kann dagegen weniger variabel eingesetzt werden.

Durch die Bandbreite an Verfahrensbedingungen (z. B. Atmosphäre und Temperatur) ist es mit Drehrohrfurnen möglich, eine Vielfalt an Prozessen umzusetzen, was verglichen mit den anderen Apparaten ein breiteres Anwendungsspektrum eröffnet, auch wenn die energetische Optimierung bei bestimm-

ten Prozessen aufwendiger sein kann. Das Verbrennen gefährlicher Reststoffe in Drehrohrfurnen ist eine bewährte Methode. Am anderen Ende des Spektrums steht beispielsweise die Pyrolyse von Altreifen unter Sauerstoffausschluss zur Herstellung von umweltfreundlichem Carbon Black.

Auch Klärschlamm mit hohem Wassergehalt kann in einem einzelnen Drehrohrfurnen recycelt und getrocknet oder thermisch in eine inertisierte Asche umgesetzt werden. Entsprechend optimierte Prozessparameter vernichten die gebundenen organischen Schadstoffe und selbst anorganische Schadstoffe wie Arsen oder Quecksilber können ausgetrieben werden. Das Ergebnis ist eine Asche reich an bioverfügbarem Phosphor, welche als mineralischer Dünger genutzt werden kann.

Schlussfolgerung

Beispiele dieser Art zeigen die Relevanz, die eine etablierte Technologie wie der Drehrohrfurnen für aktuelle Entwicklungen im Bereich Recycling hat und wie verhältnismäßig unbekannt Technologien wie der Pulsationsreaktor neue Materialien einschließlich Scale-up auf den Weg bringen. Beides ermöglicht die Bewältigung der immer anspruchsvoller werdenden Aufgaben der thermischen Verfahrenstechnik. ◀

Literaturhinweise

- [1] Strobel, R. & Pratsinis, S. E. Flame aerosol synthesis of smart nanostructured materials. *J. Mater. Chem.* 17, 4743–4756 (2007).
- [2] Pratsinis, S. E. Flame aerosol synthesis of ceramic powders. *Progress in Energy and Combustion Science* 24, 197–219 (1998).
- [3] C. Hoffmann und M. Ommer: „Reaktoren für Fluid-Feststoff-Reaktionen: Pulsationsreaktoren“, in Handbuch Chemische Reaktoren: Grundlagen und Anwendungen der Chemischen Reaktionstechnik, W. Reschetilowski, Hrsg., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2019, pp. 1-19. https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-662-56444-8_50-1

Kontakt:

IBU-tec advanced materials AG, 99425 Weimar, www.ibu-tec.de

1 IBU-tec advanced material AG



Keramik der Zukunft.

Das ganze Fachwissen der Keramiktechnologie, in allen anwendungsrelevanten Bereichen auf technisch-wissenschaftlichem Niveau mit den neuesten signifikanten Trends und Entwicklungen. Informieren Sie sich fünf Mal im Jahr mit der exklusiven Kombination aus **Printausgabe** und **interaktivem E-Magazin** sowie der **einzigartigen Wissensdatenbank des Online-Archivs mit pdf-Download**.





www.meinfachwissen.de/keramischezeitschrift