

Effiziente Wirbelschichtapparate dank Simulation



Strömungssimulation bei Konstruktion und Optimierung von Apparaten zur Wirbelschicht-Sprühgranulation

Ausgehend von einer Basistechnologie werden projektspezifische Sonderanlagen entwickelt. Klassische Entwicklungsschritte, wie der Prototypenbau, sind nicht mehr realisierbar. Der Einsatz moderner Methoden und Werkzeuge muss das finanzielle und materielle Risiko in der Projektphase minimieren. Hier wird unter anderem die Strömungssimulation genutzt, um Wirbelschichtapparate effektiver zu entwickeln und Erkenntnisse aus kleintechnischen Experimenten im großtechnischen Maßstab umzusetzen. ■ Michael Jacob

Das Einsatzfeld von Wirbelschichtapparaten umfasst sowohl Wärme- und Stoffübertragungsprozesse, wie beispielsweise Kühlung, Trocknung und Kalzinierung, als auch komplexe Mehrphasenprozesse wie die Agglomeration von Pulvern, die Sprühgranulation aus der Flüssigphase und dem Coating (Beschichten von Teilchen). Eine Wirbelschicht bildet sich, wenn ein körniges Schüttgut von einem gasförmigen Fluidisierungsmittel (dabei handelt es sich in der Regel um Luft) durchströmt wird. Je nach der Strömungsgeschwindigkeit dieses Gases gibt es unterschiedliche Prozesszustände.

AUTOR

Michael Jacob

ist Leiter Verfahrenstechnik bei
Glatt Ingenieurtechnik in Weimar

T +49/3643/47-0
F +49 /3643/47-1231
info@glatt-weimar.de

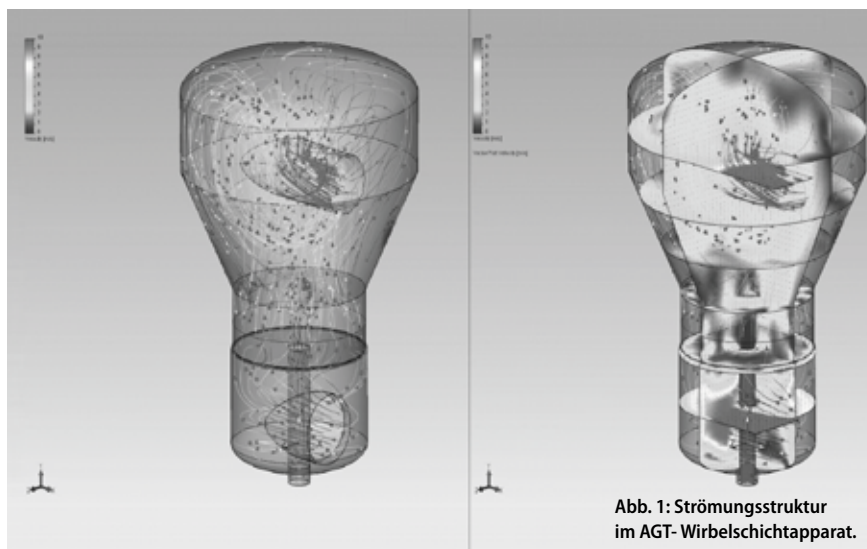


Abb. 1: Strömungsstruktur im AGT-Wirbelschichtapparat.

Den Ausgangspunkt bildet die Durchströmung eines Festbettes, das heißt einer unbewegten Füllung aus Partikeln, durch ein gasförmiges Medium. Bei einer weiteren Steigerung der Strömungsgeschwindigkeit des Gases, wird ein Punkt erreicht, bei dem eine leichte Bewegung der Teilchen einsetzt und sich die Materialfüllung bis zu einer Schichthöhe L_{mf} leicht auflockert. Dieser Punkt wird als Wirbel- oder auch als Lockerungspunkt bezeichnet und stellt den Beginn des so genannten Wirbelzustandes dar. Bei einer weiteren Erhöhung der Gasgeschwindigkeit erhöht sich die Intensität der Partikelbewegung. Die über den Luftbedarf am Wirbelpunkt hinausgehende Luftmenge durchströmt die Wirbelschicht in Form von aufsteigenden Gasblasen. Diese bewirken eine intensive Bewegung der Partikel in der Wirbelschicht. Die Wirbelschicht expandiert durch die Gasblasen dabei bis zu einer Schichthöhe L_r . Die maximale Strömungsgeschwindigkeit des Fluidisierungsmittels wird durch die so genannte Austragsgeschwindigkeit bestimmt, bei der die Partikel analog der pneumatischen Förderung aus dem Wirbelschichtapparat ausgetragen werden.

Eine sehr häufig in Wirbelschichtanlagen angewandte Prozessvariante der

konvektiven Trocknung stellt die Sprühgranulation ausgehend von einer feststoffhaltigen Flüssigkeit dar. Mit diesem Verfahren werden kompakte Granulate durch Einsprühen feststoffhaltiger Flüssigkeiten in eine Wirbelschicht, Verdampfung des Lösungsmittels (z.B. Wasser) sowie daraus folgendem Partikelwachstum gebildet. Dieser Vorgang wird häufig auch als Aufbaugranulation bezeichnet.

Bei Sprühgranulationsprozessen wird die feststoffhaltige Flüssigkeit durch Sprühdüsen gleichmäßig auf Partikel geringerer Größe aufgesprüht. Diese kleineren Partikel bezeichnet man als Granulationskeime. Sie bestehen in der Regel aus dem gleichen Material wie der über die Flüssigphase aufgesprühte Feststoff. Sie können beispielsweise durch Sprühtrocknungsprozesse, Abrieb oder Zerfallen von Granulaten gebildet werden.

Das Lösungsmittel verdampft auf der Oberfläche der Teilchen und der verbleibende Feststoff lagert sich gleichmäßig dicht auf der Partikeloberfläche ab. Durch diesen Mechanismus nimmt der Partikeldurchmesser mit andauernder Prozesszeit stetig zu und es werden kompakte Teilchen mit sehr homogener Struktur erzeugt.

Wirbelschichtapparate lassen sich im Allgemeinen durch einen sich prinzipiell gleichartigen Grundaufbau charakterisieren. Der Prozessraum nimmt die eigentliche Wirbelschicht auf und ist an seiner Unterseite durch einen porösen oder perforierten Anströmboden begrenzt. Dieser Anströmboden verhindert einerseits das Durchfallen von Wirbelschichtmaterial in darunterliegende Apparatebereiche, andererseits dient er zur definierten Verteilung des Fluidisierungsmediums über den Querschnitt des Prozessraumes. An seiner Oberseite ist der Prozessraum im einfachsten Fall geschlossen und das Fluidisierungsmittel wird oben herausgeführt und bei Bedarf nachfolgend in einem externen Staubabscheider gereinigt. Alternativ zur externen Entstaubung können Filtersysteme oberhalb des Prozessraumes montiert sein, die das Fluidisierungsmittel vor dem Verlassen des Wirbelschichtapparates entstauben.

Apparate für kontinuierliche Prozesse

Zur Durchführung von kontinuierlichen Prozessen sind eine ständige Rohstoffzufuhr und ein ununterbrochener Produkt-

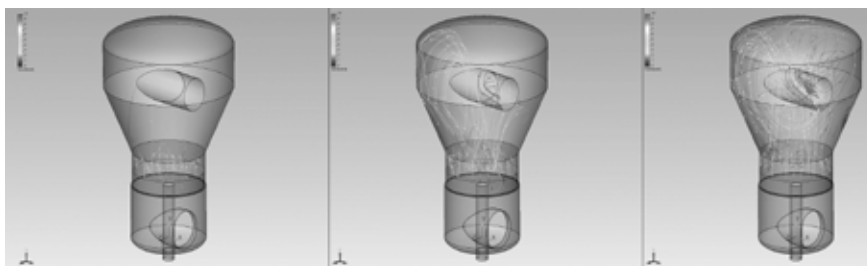


Abb. 2: Partikelgrößenabhängige Partikelbahnen im Abluftbereich des Wirbelschichtapparates.

austrag erforderlich, sodass für derartige Anwendungen spezielle Apparate entwickelt wurden.

Als ein Praxisbeispiel für einen kontinuierlich betriebenen Wirbelschichtapparat wird in diesem Beitrag die Glatt-Anlage vom Typ AGT näher betrachtet. Dieser Apparatyp zeichnet sich durch ein spezielles Austragsystem zur staubfreien kontinuierlichen Ausschleusung von Granulaten aus. Dazu wurde ein so genanntes Austragsrohr zentral im Anströmboden angeordnet. Dieses Rohr wird mit einer einstellbaren Gasströmung in die Wirbelschicht hinein beaufschlagt, die bewirkt, dass ausschließlich Partikel mit einer Sinkgeschwindigkeit größer als die Strö-

mungsgeschwindigkeit im Austragsrohr, in dieses gelangen und den Apparat verlassen können. Auf diese Weise wird ein Trenneffekt erzeugt und somit ein stets staubfreies Granulat mit der erwünschten Größe ausgetragen.

Bei der technischen Realisierung derartiger Apparate werden während der Projektbearbeitung unter anderem verschiedene numerische Simulationsmethoden verwendet.

Einordnung von Simulation in den Entwicklungsprozess

Die theoretische Simulation und Modellierung stellt einen wesentlichen Be->

Komplette Dosiertechnik aus einer Hand – mit ProMinent

Experts in Chem-Feed and Water Treatment

Besuchen Sie unsere neue
Website: www.prominent.com

ProMinent®



Optimale Gesamtlösungen für die Fluid-Dosiertechnik

- Ganzheitliche Lösungen der Dosiertechnik für alle Leistungsbereiche und alle Chemikalien
- Vollständige Bandbreite an Pumpen und Dosiersystemen
- Perfekt abgestimmte Sensoren und Regler
- Beratung und Umsetzung aus einer Hand



www.prominent.de/dosieren

ProMinent Dosiertechnik GmbH • www.prominent.com
Im Schuhmachergewann 5-11 • 69123 Heidelberg
Telefon +49 6221 842-0 • Fax +49 6221 842-617



alles aus einer hand...

Die Anforderungen an Sensorik, Messsysteme, Software und Dienstleistung steigen stetig. Umso wichtiger, dass alle Komponenten in der gesamten Messkette optimal aufeinander abgestimmt sind, abgerundet durch kompetente Dienstleistung. Gerade hierauf legen wir bei HBM sehr großen Wert.

- Wägezellen, Einbauhilfen und Zubehör
- Kraft-, Druck-, Drehmoment- und Wegaufnehmer
- Dehnungsmessstreifen
- Messverstärkersysteme für Versuch, Erprobung und industrielle Messtechnik
- Präzisionsmesstechnik
- Bedien- und Auswertesoftware
- Dienstleistung

www.hbm.de



measurement with confidence

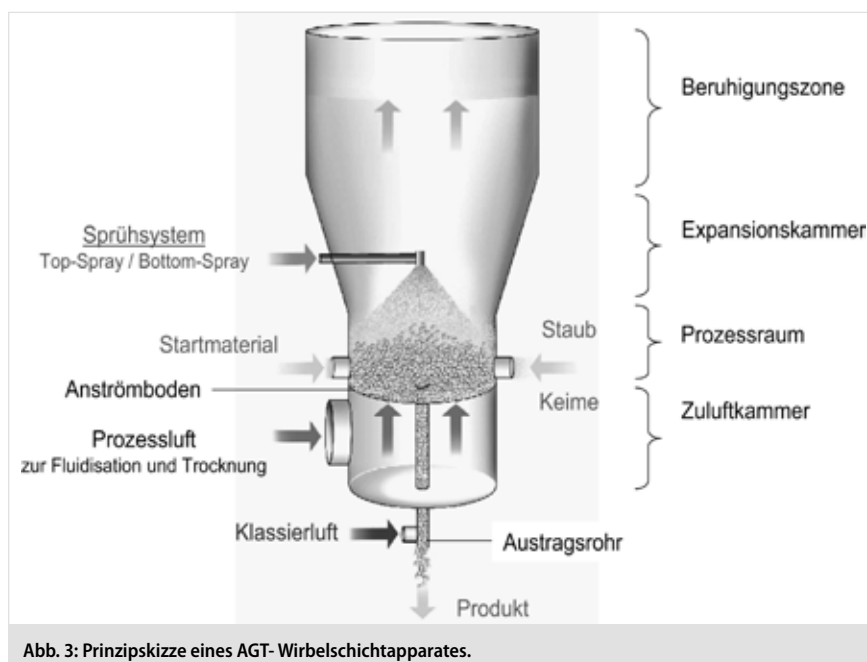


Abb. 3: Prinzipskizze eines AGT-Wirbelschichtapparates.

standteil der Aktivitäten innerhalb eines Projektes dar. Ausgehend von experimentellen Untersuchungen im Labor- und kleintechnischen Maßstab werden Produktionsanlagen konzipiert und industriell umgesetzt. Die Experimente dienen als Prinzipnachweis und zur Herstellung von Produktmustern sowie zur Überprüfung der sich anschließenden Simulationsschritte. Glatt setzt verfahrenstechnische Aufgabenstellungen in der Regel so um, dass sich der Entwicklungsprozess sowohl auf den technischen Apparat als auch auf den gesamten verfahrenstechnischen Prozess in einer Gesamtanlage (der Anwendung) erstreckt. Die technische Umsetzung der jeweiligen Aufgabenstellungen werden durch CFD- und FEM-Berechnungen (CFD – Computational Fluid Dynamics bzw. FEM – Finite Elemente Methode) unteretzt, deren Resultate in die Gestaltung des Wirbelschichtapparates einfließen. Die Simulationsergebnisse werden dabei iterativ mit den experimentellen Ergebnissen verglichen und überprüft. Erst wenn die Parameter und Bedingungen im kleintechnischen Maßstab ausreichend genau modelliert werden können, sind Hochrechnungen auf andere Apparategrößen sinnvoll. Die Methoden zur anwendungsspezifischen Prozessoptimierung, wie zum Beispiel die Optimierung der Produktqualität sowie Studien zum Reduzieren des zur Trocknung aufzubringenden energetischen Aufwandes, werden hier nicht weiter erläutert. Für die einzelnen Simulationswerkzeuge lassen sich unterschiedliche Anwendungsschwerpunkte zusammenstellen.

Die Strömungssimulation mittels CFD wird hauptsächlich unmittelbar zu Beginn eines Projektes unter anderem in der Vorprojektphase verwendet, um die grundlegende geometrische Gestalt des Wirbelschichtapparates zu ermitteln. Dabei fließen Erfahrungen aus den Experimenten, wie beispielsweise notwendige Luftgeschwindigkeiten oder Differenzdrücke des Anströmbodens in die Modellierung mit ein.

Strömungsmechanische Betrachtungen werden bei Glatt unter anderem zur Bearbeitung der folgenden Aufgabenstellungen eingesetzt:

- ▶ grundlegende Studien bei der Entwicklung neuartiger Apparate als Vorstufe zum Prototypenbau im Labor- oder kleintechnischen Maßstab;
- ▶ Parameterstudien (Gestaltvarianz), um Einflussgrößen auf den Prozess zu ermitteln;
- ▶ Modellrechnungen für Apparate unterschiedlicher Größe als Vorstufe zur Maßstabsübertragung;
- ▶ Ermittlung von Druckverhältnissen in Apparaten für unterschiedliche Betriebszustände als Vorstufe zur FEM- Festigkeitsberechnung;
- ▶ Ermittlung von Temperatur- und Geschwindigkeitsfeldern;
- ▶ Entwicklung von Sonderapparaten auf Basis der Wirbelschichttechnologie;
- ▶ Berechnungen für externe Firmen bzw. Consulting.

Fallstudie zur Anwendung der Strömungssimulation

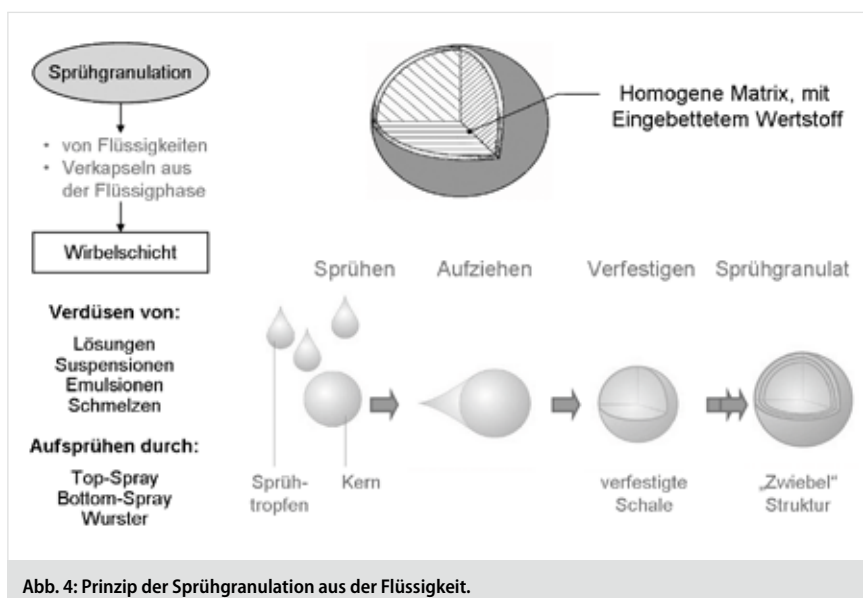
Nachdem kleintechnische Versuche zunächst zur Machbarkeit sowie später zur Optimierung eines Granulationsverfahrens im Technikum durchgeführt wurden, war eine großtechnische Anlage für eine vorgegebene höhere Produktionsleistung zu konzipieren. Ausgehend von den während der Versuchsdurchführung experimentell ermittelten Gasgeschwindigkeiten im Prozessraum und im Austragssystem sowie entsprechend den vorgegebenen Temperaturbedingungen wurde zunächst die Geometrie des Apparates dreidimensional modelliert.

Entsprechend den Erkenntnissen aus dem Technikum wurden die Prozess- und die Klassierluftmenge sowie die Druckverhältnisse im oberen Bereich des Prozessraumes als Randbedingungen vorgegeben. Der Anströmboden wurde als poröses Medium definiert und dessen reale Druckverlustkurve auf Basis von Messungen am technisch eingesetzten Material im Simulationssystem hinterlegt. Der Bereich der Wirbelschicht selbst wurde ebenfalls als poröses Medium mit isotropen Differenzdruckverhalten modelliert. Die entsprechende Druckverlustkurve wurde theoretisch auf der Basis bekannter Wirbelschichtmodelle berechnet. Durch diese Herangehensweise konnte auf eine Mehrphasenmodellierung verzichtet werden, was den Aufwand bei der Modellbildung und der numerischen Lösung extrem reduzierte.

Um die realen Temperaturbedingungen abzubilden, wurde das Volumen der Wirbelschicht gleichzeitig als volumetrische Wärmesenke definiert, da die erhitzte Prozessluft ihre Energie entsprechend der zu verdampfenden Flüssigkeitsmenge abgibt und sich somit abkühlt. Dadurch ändert sich beispielsweise die Gasdichte, was bei der Simulation zu berücksichtigen ist. Weiterhin sind Darstellungen der Gas-Stromlinien innerhalb des Apparates hilfreich. Hier zeigen sich sehr anschaulich Umlenkungen der Strömungsrichtung sowie unmittelbar Einflüsse der Apparategeometrie.

Ein wesentliches Ziel der Berechnungen bestand darin, die erforderlichen Dimensionen der Expansions- und Beruhigungszonen zu bestimmen. Diese oberen Bereiche innerhalb des Wirbelschichtapparates dienen hauptsächlich zur Vorabscheidung von aus der Wirbelschicht mitgerissenen Partikeln.

Dazu wurden Simulationsstudien durchgeführt, bei denen Partikel unter-



schiedlicher Größe in das Geschwindigkeitsfeld eingetragen wurden. Die Oberseite des Wirbelschichtvolumens diente dabei als Ausgangsebene, da von dort aus auch die Partikel von der Prozessluft mitgerissen werden. Die Partikelbahnen wurden unter Berücksichtigung der nicht-idealen Reflexion an den Apparatewänden berechnet. Hierbei wurden jeweils gleiche Mengen von drei unterschiedlich großen Partikeln eingetragen und berechnet.

Es ist erkennbar, dass die größeren Partikel im Apparat bleiben und ausgehend von einem bestimmten Durchmesser ein Anteil kleinerer Partikel mit der Abluft aus dem Apparat gelangen. Weiterhin werden feinere Partikel intensiver vom Prozessluftstrom mitgerissen und strömen im Expansionsbereich in Wandnähe zurück. Es ist auch zu erkennen, dass die zum Abluftrohr hin gerichtete Luftströmung zirkulierende Partikel mitnimmt.

Durch Änderung der geometrischen Dimensionen des Apparates sowie die Positionierung des Abluftrohres kann gezielt Einfluss auf das interne Abscheideverhalten genommen werden. Dieses Abscheideverhalten ist von der Partikelgröße und von der Geometrie des Apparates sowie von der Apparategröße selbst abhängig. Die Strömungssimulation bietet die Möglichkeit, diese Größeneinflüsse systematisch zu untersuchen und dadurch die Funktionssicherheit des Apparates zu erhöhen.

Zusammenfassung

Zusammenfassend wird eingeschätzt, dass die Strömungssimulation ein sehr hilfreiches Werkzeug zur Entwicklung und Realisierung großtechnischer industrieller

Anwendungen der Wirbelschichttechnik darstellt. Bei der Anwendung derartiger Simulationsrechnungen ist jedoch besonderes Augenmerk auf die eingesetzten Methoden und Modelle zu legen. In der Regel sind starke Vereinfachungen integriert oder die Modelle nur in bestimmten Einsatzbereichen aussagefähig und somit anwendbar. Die Nutzungsgebiete sowie die erwarteten Ergebnisse sollten vor der Auswahl der Simulationssoftware und der einzusetzenden Modelle genau definiert werden.

Bei Berücksichtigung der entsprechenden Systemgrenzen lassen sich beispielsweise mit Ein-Phasen-Modellen für verdünnte Gas-Feststoff-Systeme aussagefähige Ergebnisse gewinnen. Dies wurde in diesem Beitrag am Beispiel des Abscheideverhaltens im Oberteil eines Wirbelschichtapparates gezeigt. Das Verhalten der Wirbelschicht als Ganzes kann aber auch als Randbedingungen in Ein-Phasen-Systeme eingefügt werden, wodurch auch Geometrien von komplexen Wirbelschichtapparaten modelliert werden können.

Die Modellierung höherer Partikelkonzentrationen, wie sie zum Beispiel im Bereich der eigentlichen Wirbelschicht vorliegen, ist nur mit komplexeren Mehr-Phasen-Modellen möglich, die auch die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Phasen berücksichtigen. Dabei ist jedoch der erheblich höhere Aufwand zu berücksichtigen, sodass sich derartige Simulationen meistens auf den eigentlichen Prozessraum beschränken. ■

Weiterführende Infos auf www.PuA24.net

more @ click **PAK70102**