

Smart Science: Entwicklung Einer Wirbelschicht-Demonstrationsanlage Im Labormaßstab Als Beitrag Zur Wissenschafts- Und Nachhaltigkeitskommunikation

Andreas Thöni¹, Samuel Peer¹, Thomas Senfter², Martin Pillei³

¹Studiengang Mechatronik; MCI – Die Unternehmerische Hochschule

²Studiengang Umwelt-, Verfahrens- & Energietechnik; MCI – Die Unternehmerische Hochschule

³Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen; MCI – Die Unternehmerische Hochschule

Abstract:

Im Rahmen dieses Projektes wird eine Demonstrationsanlage zur anschaulichen Darstellung von Wirbelschichtprozessen entwickelt. Im Unterschied zu gängigen Versuchsanlagen wird das Augenmerk auf Interaktivität, Automatisierung und insbesondere Wissensvermittlung gelegt. Sie kann bei öffentlichen Veranstaltungen, Messen oder in der Lehre verwendet werden, um auf Knopfdruck Konzepte der Wirbelschichttechnologie und deren vielfältige Anwendungsbereiche (Abfallwirtschaft, Lebensmittelproduktion, ...) interessierten Personen näherzubringen. Gleichzeitig können wiederholbare Versuche zur Ermittlung von Betriebsparametern und Kennzahlen zur Auslegung und Dimensionierung echter Anlagen durchgeführt werden.

Keywords: Wirbelschicht, Wissenschaftskommunikation, Automatisierung, Versuchsanlage

1. EINLEITUNG

Die Wirbelschichttechnologie ist ein etabliertes Verfahren in der chemischen und verfahrenstechnischen Industrie. Sie basiert auf der Fluidisierung einer Partikelschüttung durch ein von unten eingeleitetes Fluid, wodurch ab Erreichen der Lockerungsgeschwindigkeit ein flüssigkeitsähnlicher Zustand entsteht. Dieser zeichnet sich durch intensiven Stoff- und Wärmeaustausch sowie homogene Temperaturverteilungen aus und ermöglicht die effiziente Durchführung von Prozessen wie Trocknung, Granulation, Verbrennung oder katalytischen Reaktionen (Cheng & Zhu, 2006).

Aufgrund dieser Eigenschaften sind Wirbelschichtprozesse fester Bestandteil zahlreicher industrieller Anwendungen, etwa in der thermischen Behandlung von Reststoffen oder in der Lebensmittel- und Pharmaindustrie. Ein Anwendungsbereich besteht etwa in der Trocknung von Schlamm aus Wasserwerken oder Grubenentwässerungen, wodurch der Feuchtigkeitsanteil stark verringert werden kann, was die weitere Verarbeitung ermöglicht, anstatt die Endlagerung auf Deponien notwendig zu machen (Böhme & Schönherr, 2000). In Form von Wirbelschichtverbrennungsanlagen kann die Technologie auch verwendet werden, um nicht-recyclebare Abfälle mit stark verringerter NO_x -Bildung und geringer Bindung von Schwermetallen in der Rest-Asche zu verbrennen (Umweltbundesamt, 2025). Entsprechend existieren an technischen Hochschulen und Forschungseinrichtungen vielfältige Versuchsanlagen zur experimentellen Untersuchung des Fluidisierungsverhaltens und zur Ermittlung verfahrenstechnischer Kenngrößen.

Diese bestehenden Laboraufbauten sind jedoch primär auf funktionale und messtechnische Aspekte ausgelegt. Ziel dieses Projektes ist daher, einen Versuchsstand im Labormaßstab zu entwickeln, der nicht nur rein funktional, sondern interaktiv und wissensvermittelnd ist. Betriebsparameter wie Lockerungsgeschwindigkeit, Druckverlust, Volumenstrom und Temperatur werden anschaulich auf einem großen Display visualisiert. Per Knopfdruck auf die verschiedenen auf dem Bildschirm abgebildeten Anlagenkomponenten werden relevante Informationen angezeigt. Dadurch kann die Anlage nicht nur für die hochschulische Lehre, sondern auch zur Wissensvermittlung auf Messen oder anderen öffentlichen Veranstaltungen verwendet werden, um diese Technologie einem breiteren Publikum begreifbar zu machen.

Die Forschungsfrage lautet daher:

Wie muss eine interaktive Wirbelschicht-Versuchsanlage aufgebaut sein, damit sie nicht nur im hochschulischen Kontext eingesetzt werden kann, sondern auch einer breiten Öffentlichkeit zur Wissenskommunikation zugänglich ist?

2. METHODEN

Teile dieser Arbeit entstanden im Rahmen einer Bachelorarbeit (Thöni, 2025).

2.1. Vorgangsweise

Die Entwicklung der Versuchsanlage erfolgt nach einem strukturierten Ansatz. Die Grundlage bildet eine systematische Untersuchung von in den letzten Jahren entwickelten Versuchsanlagen hinsichtlich Geometrie, Messkonzept und Automatisierung.

Aus dieser Analyse wird ein Anforderungsprofil abgeleitet, welches in mechanische, elektrische bzw. automatisierungstechnische und messtechnische Anforderungen unterteilt wird. Neben einer gewissen experimentellen Reproduzierbarkeit soll auch die Mobilität und die intuitive Bedienbarkeit im Fokus stehen.

2.2. Mechanische Auslegung

Die Geometrie der Wirbelkammer wird sowohl unter Berücksichtigung bewährter Konstruktionsprinzipien aus der Literatur als auch unter der Nutzung von strömungsmechanischen Berechnungen ausgelegt. Ziel ist es, einen Wirbelkammerdurchmesser zu finden, der eine hohe Beobachtbarkeit des Fluidisierungsprozesses gewährleistet, ohne dass dabei der dafür notwendige Volumenstrom den von konventionellen Gebläsen überschreitet. Die Dimensionierung erfolgt unter Verwendung der Ergun-Gleichung unter Annahme kugelförmiger Partikel (Kraume, 2020). Als Versuchsmaterial kommen Kunststoffgranulate mit Korngrößen im Bereich von 1-4 mm zum Einsatz.

Auf Grundlage dieser Bedingungen und dem dabei zu erwartenden Durchfluss und Druckverlust werden Druckluftzähler und Differenzdrucksensoren ausgewählt.

Die Lagerung der Partikel erfolgt in separaten Behältern. Zur reproduzierbaren Eindosierung in die Wirbelkammer werden speziell entwickelte Förderschnecken eingebaut. Dadurch können definierte Mengen an Granulat in die Anlage eingebracht werden.

Ein mechanischer Umschaltmechanismus erlaubt den Wechsel zwischen klassischem Wirbelschichtbetrieb und einem Demonstrationsmodus zur Darstellung pneumatischer Fördervorgänge. Dadurch können unterschiedliche verfahrenstechnische Prinzipien an derselben Anlage visualisiert werden.

2.3. Mess- und Automatisierungskonzept

Zur Bestimmung des Fluidisierungsverhaltens werden die folgenden Größen erfasst:

- Differenzdruck über die Partikelschicht
- Differenzdruck über ausgewählte Rohrleitungsabschnitte
- Gasvolumenstrom
- Gastemperatur

Die Differenzdruckmessung erfolgt mittels kalibrierter Sensoren im geeigneten Messbereich, sodass sowohl Festbett- als auch fluidisierte Zustände erfasst werden können. Der Volumenstrom wird über einen kalorimetrischen Druckluftzähler bestimmt, wodurch eine direkte Zuordnung von Druckverlust und Strömungsgeschwindigkeit möglich ist.

Die Steuerung basiert auf einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) in Form einer Siemens S7-1200. Zur Einstellung definierter Betriebszustände wird eine Durchflussregelung implementiert. Die Reglerparameter werden im Rahmen der Inbetriebnahme experimentell anhand von Sprungantworten identifiziert und optimiert.

Alle relevanten Betriebsgrößen werden auf einer grafischen Benutzeroberfläche dargestellt. Ziel dabei ist es, auch die Bedienung durch fachfremde Personen zu ermöglichen.

3. ERGEBNISSE

Die entwickelte Demonstrationsanlage besteht aus einer modular aufgebauten und somit einfach austauschbaren Wirbelkammer, einem ebenfalls ausbaubaren Gasverteiler, separaten Partikelbehältern inklusive Förderschnecken zur Dosierung sowie einem Systemschrank für die Steuerungs- und Automatisierungskomponenten.

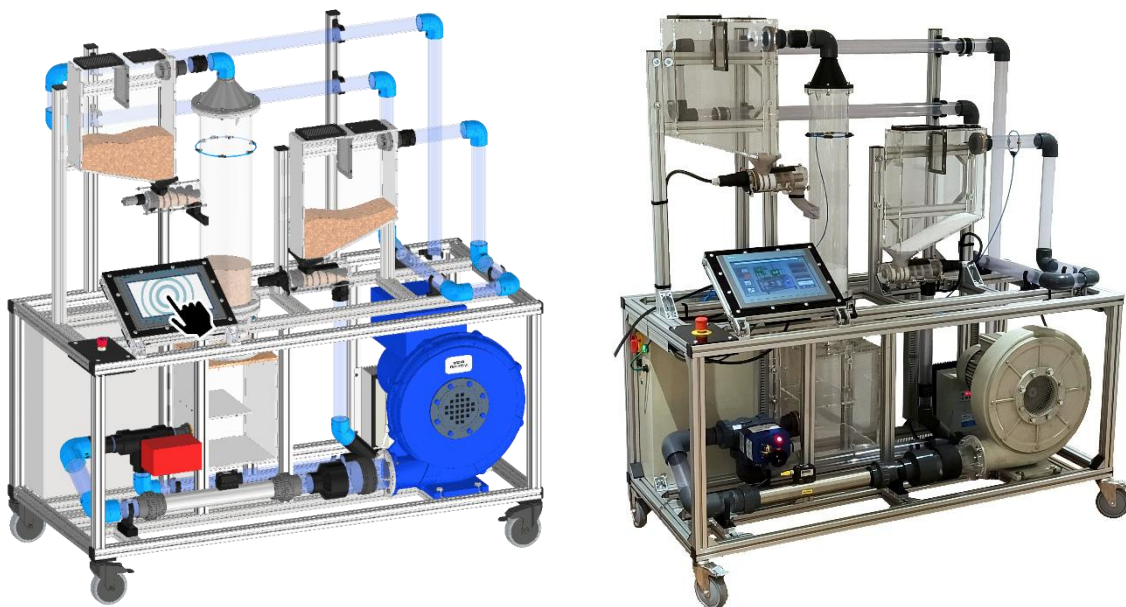


Abbildung 1: CAD-Konstruktion und reale Anlage (Thöni, 2025)

Die Wirbelkammer weist einen Innendurchmesser von 127 mm und eine Gesamthöhe von 0,7 m auf. Der ermittelte Durchmesser geht damit einen Kompromiss zwischen guter visueller Beobachtbarkeit und moderatem benötigten Volumenstrom zur Fluidisierung ein.

Der sogenannte „Präsentationsmodus“, in den die Anlage via Display versetzt werden kann, dient der bereits weiter oben erwähnten Wissenschaftskommunikation. Dabei geht es um hauptsächlich 3 Themen:

- Funktionsprinzip Wirbelschicht:

Der Zweck dieser Darstellung ist das Näherbringen des zugrundeliegenden Prinzips der Fluidisierung. Interessierte können selbst den Durchfluss durch das Partikelbett

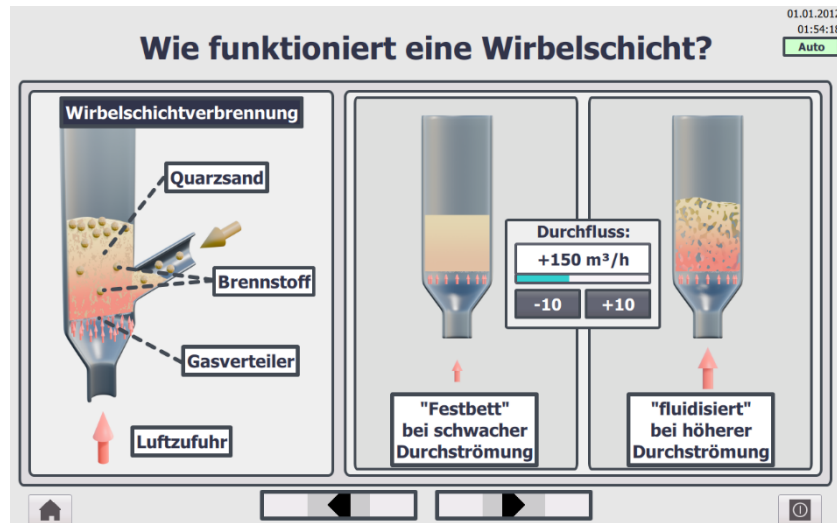


Abbildung 2: Präsentationsmodus - Fluidisierungsprinzip

schrittweise erhöhen, bis der erwartete Übergang vom Festbett zur Wirbelschicht eintritt. Auf der linken Seite ist der Aufbau eines möglichen Anwendungsbereichs am Beispiel einer Wirbelschichtverbrennung dargestellt.

- Druckverlustkurve:
Auf dieser Folie wird Interessierten die für Wirbelschichten typische Druckverluste nähergebracht. Auf der linken Hälfte wird der theoretische Verlauf des Druckverlustes bei steigender Geschwindigkeit dargestellt. Der zurzeit auf der realen Anlage herrschende

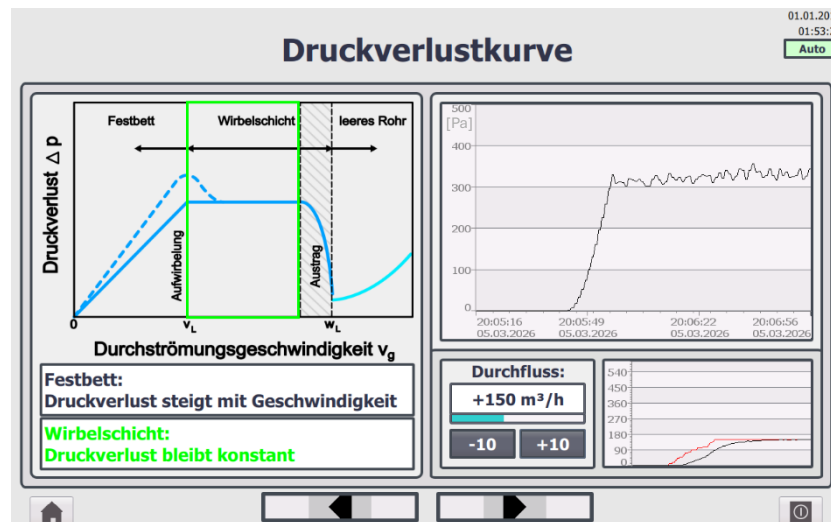


Abbildung 3: Präsentationsmodus - Druckverlustkurve

Zustand wird farblich markiert (Festbett oder Wirbelschicht). Auf der rechten Hälfte kann abermals der Durchfluss manuell eingestellt werden und die Kurve der echten Anlage in Echtzeit betrachtet werden. Dies ermöglicht das direkte Vergleichen von Theorie und Praxis Seite an Seite.

- Anwendungsgebiete und Vorteile:
Auf weiteren Folien werden die Anwendungsbereiche Wirbelschichtverbrennung, Wirbelschichtgranulation und -trocknung vorgestellt. Bei der Verbrennung wird besonders die bereits in der Einleitung erwähnte höhere Umweltverträglichkeit am Beispiel von Abfallverbrennungen hervorgehoben. Im Bereich der Granulation wird anhand von Produkten wie Instant-Kaffee oder Medikamenten verdeutlicht, dass diese Technologie bereits in vielen im Alltag verwendeten Produkten Anwendung findet. Auch der ebenfalls bereits erwähnte Prozess der Trocknung von Wasserwerksschlamm zur Reduzierung des Deponiebedarfs wird erläutert.

Aus den Ergebnissen des Projektes lässt sich der Schluss ziehen dass es durchaus möglich ist, einen Versuchsstand zu entwickeln und zu errichten, der sowohl im hochschulischen Kontext zur Lehre verwendet, als auch bei Messen zur Wissenskommunikation genutzt werden kann. In Zukunft könnten weitere Inhalte hinzugefügt werden, die breiteren Kontext zum Thema Wirbelschichtverfahren bieten.

Literaturverzeichnis

- Böhme, K., & Schönherr, J. (2000). Wirbelschichttrocknung von Wasserwerkschlamm. *GKSS-Workshop: Kontaminierte Schlämme. Behandlung und Nutzungsmöglichkeiten feinkörniger Rohstoffe*, 171-172.
- Cheng, Y., & Zhu, J. (2006). Fluidized bed reactors and applications. In C. Crowe, *Multiphase Flow Handbook*. New York: CRC Press.
- Kraume, M. (2020). *Transportvorgänge in der Verfahrenstechnik*. Berlin: Springer-Verlag.
- Thöni, A. (2025). Mechanische und prozesstechnische Entwicklung eines Wirbelschicht-Versuchsstandes. Innsbruck, Tirol, Österreich.
- Umweltbundesamt. (17. 11 2025). *Umweltbundesamt*. Abgerufen am 22. 02 2026 von Umweltbundesamt:
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/dokumente/abfallaufbereitung_wirbelschichtverbrennung_fbc.pdf