

VERGLEICH VERSCHIEDENER ZYKLONABSCHIEDER IM BEREICH DER LUFTREINHALTUNG

Sandro Holzer^{*a}, Tobias Kofler^a, Thomas Senfter^a, Manuel Berger^a, Christian Mayerl^a, Stephan Kahl^a
und Martin Pillei^a

^a *Department of Environmental, Process and Energy Engineering, MCI-The Entrepreneurial School,
Innsbruck, Austria*

** Corresponding Author: Sandro Holzer, sandro.holzer@mci.edu*

Kurzfassung. In vielen verfahrenstechnischen Prozessen ist es notwendig, dispers verteilte Partikel aus einem kontinuierlichen Fluidstrom zu separieren. Dazu können Zyklonabscheider, im speziellen Gegenstrom- und Gleichstromzyklone, eingesetzt werden. Während für Gegenstromzyklone bewährte Auslegungsmodelle vorhanden sind, fehlen diese für Gleichstromzyklone, wodurch eine Dimensionierung erschwert wird. Ziel dieser Forschungsarbeit ist es, die Leistungsdaten dieser beiden Zyklontypen empirisch zu vergleichen, um ein tieferes Verständnis hinsichtlich der jeweiligen Leistungsmerkmale zu ermöglichen. Ausgehend von einer vorhandenen Gleichstromzyklon-Geometrie wird ein Gegenstromzyklon gemäß dem Modell von Barth/Muschelknautz unter Berücksichtigung relevanter Auslegungskriterien konstruiert und gefertigt. Für den Vergleich der jeweiligen Leistungsdaten werden im Anschluss experimentelle Untersuchungen bei unterschiedlichen Betriebsparametern im Labormaßstab durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass der Gegenstromzyklon hinsichtlich der Trennleistung, als auch durch einen deutlich niedrigeren Druckverlust überzeugt. Bei annähernd gleicher Trennleistung beider Abscheider kann folglich der Gegenstromzyklon mit einem niedrigeren Betriebsvolumenstrom bei gleichzeitig deutlich reduziertem Energieverbrauch betrieben werden. So benötigt beispielsweise der Gegenstromzyklon zum Erreichen eines Abscheidegrads von ca. 90 % einen um ca. 15 % niedrigeren Volumenstrom bei gleichzeitig lediglich etwa 20 % des Druckverlusts im Vergleich zum Gleichstromzyklon. Somit erweist sich der Gegenstromzyklon als der deutlich effizientere Abscheider des durchgeführten Zyklonvergleichs.

Keywords: Entstaubungstechnik, Zyklonabscheider, Trennleistung

1 EINLEITUNG

Das Abscheiden von dispers verteilten Partikeln aus Fluiden ist in der Entstaubungstechnik ein wichtiger verfahrenstechnischer Prozess. Dazu werden zuverlässige Abscheider benötigt, welche sich idealerweise durch eine hohe Trennleistung bei gleichzeitig geringem Druckverlust charakterisieren. Zyklonabscheider zählen in diesem Zusammenhang zu den am häufigsten eingesetzten Abscheidern [1] und überzeugen vor allem durch die relativ geringen Investitionskosten, die hohe Betriebssicherheit, sowie den geringen Wartungsaufwand. Zyklonabscheider können in Gegenstrom- und Gleichstromzyklone eingeteilt werden. Für den Einsatz in großtechnischen Anlagen sind Gegenstromzyklone jedoch bis heute von größter Bedeutung. Zusätzlich ermöglichen und erleichtern bereits bewährte Berechnungsmodelle, beispielsweise nach Barth/Muschelknautz, die geometrische Auslegung von Gegenstromzyklonen [2,3]. Gleichstromzyklone sind aufgrund der geradlinigen Strömungsführung ohne Strömungsumkehr wesentlich kompakter in der Ausführung, weshalb der große Vorteil in der einfachen und unkomplizierten Installation in bereits bestehende Rohrleitungssysteme liegt. Die unterschiedlichen geometrischen Ausführungen sowie die entsprechenden Strömungsführungen beider Zyklonbauweisen resultieren jedoch in unterschiedlichen Leistungsdaten wie Trennleistung und Druckverlust, welcher wiederum den Energiebedarf widerspiegelt. Mit dem vorliegenden Forschungsvorhaben sollen dazu die Unterschiede der Leistungsdaten beider Zyklonbauweisen aufgezeigt werden. Hierfür wird ein Vergleich dieser Zyklonbauweisen beim Betrieb mit identen Volumenströmen bzw. Eintrittsgeschwindigkeiten durchgeführt. Auf diese Weise soll eine Installation in eine Rohrleitung mit gegebenem Durchmesser simuliert werden.

2 METHODEN

Für den Vergleich wurde ein entsprechender Gegenstromzyklon auf Basis einer von Pillei [4] untersuchten Gleichstromzyklon-Geometrie mit einem Zyklondurchmesser d_z von 100 mm ausgelegt und gefertigt. Die Auslegung des Gegenstromzyklons nach Barth/Muschelknautz [2,3] unter Berücksichtigung relevanter Auslegungskriterien führte zu einem 6,6-fach größeren Bauvolumen des Gegenstromzyklons im Vergleich zum Gleichstromzyklon. Der Zyklondurchmesser des Gegenstromzyklons d_z betrug dabei 240 mm. Das Verhältnis von Tauchrohrdurchmesser zu Zyklondurchmesser d_T/d_z kann für den Gleichstromzyklon mit 0,54 sowie mit 0,46 für den Gegenstromzyklon angegeben werden. Im Anschluss dazu wurden Abscheideversuche auf einer eigens dafür errichteten modularen Versuchsanlage durchgeführt, siehe Abbildung 1. Der mit Partikel beladene Volumenstrom wird über ein geregeltes Gebläse im Saugbetrieb erzeugt. Die Regelung erfolgt hierbei über eine Volumenstrommessung durch eine Messblende mit dem Differenzdrucksensor PDI 1 nach dem Differenzdruck-Verfahren. Über eine rohgasseitige Dispergiereinheit wird der

Volumenstrom mit Partikel (Versuchsstaub: Carolith 20-R, $d_{50} = 17,5 \mu\text{m}$) beaufschlagt. Im jeweiligen Zyklonabscheider werden abhängig der Trennleistung, Partikel abgeschieden und als das Grobgut ausgetragen. Die Trennleistung bzw. der Abscheidegrad η wird hierbei gravimetrisch aus der aufgegebenen sowie abgeschiedenen Menge an Partikeln bestimmt. Nicht im jeweiligen Zyklon abgeschiedene Partikel werden im nachgeschalteten Reinfluftfilter abgetrennt. Des Weiteren wird der Druckverlust des jeweiligen Zyklonabscheiders über einen weiteren Differenzdrucksensor PDI 2 aufgezeichnet. Sämtliche Rohrleitungen wurden in PMMA (Polymethylmethacrylat) mit einem Innendurchmesser von 100 mm ausgeführt.

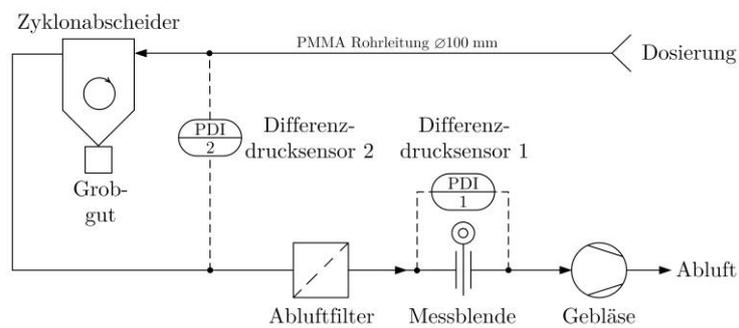


Abbildung 1. Fließschema des allgemeinen Versuchsaufbaus

Die Abscheideversuche wurden sowohl beim Gegen- als auch beim Gleichstromzyklon mit fünf unterschiedlichen Eintrittsgeschwindigkeiten, von $v_e = 6,9 \text{ m/s}$ bis $v_e = 12,5 \text{ m/s}$, durchgeführt. Die Partikelkonzentration betrug dazu stets 2 g/m^3 bei einer Versuchszeit von 20 Minuten. Für die Gültigkeit eines Versuches wurden mindestens zwei Wiederholungsversuche durchgeführt, wobei die maximale Abweichung der Abscheidegrade zueinander nicht mehr als 1 % betragen durfte (gemäß DIN ISO 5011:2020-09).

3 ERGEBNISSE

Das folgende Kapitel zeigt die Ergebnisse der Staubversuche der untersuchten Zyklonabscheider im Vergleich. Hierzu sind in Abbildung 2 die Leistungsdaten Abscheidegrad (links) sowie Druckverlust (rechts) dargestellt.

3.1 ABSCHIEDERAD UND DRUCKVERLUST

Sowohl beim Gleichstromzyklon als auch beim Gegenstromzyklon resultiert eine Erhöhung der Eintrittsgeschwindigkeit in einer Erhöhung des Abscheidegrads. Der Gegenstromzyklon zeigt jedoch stets einen höheren Abscheidegrad im Vergleich zum Gleichstromzyklon. Gleichzeitig ist der Gegenstromzyklon zusätzlich durch deutlich niedrigere Druckverlustwerte gekennzeichnet. Diese betragen lediglich in etwa 25% der Druckverlustwerte des Gleichstromzyklons.

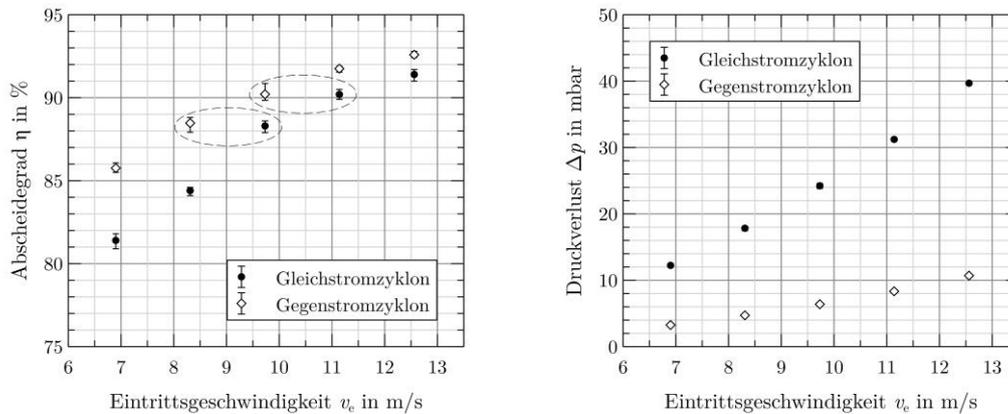


Abbildung 2. Vergleich der Leistungsdaten des Gleichstrom- und Gegenstromzyklons

Die höheren Abscheidegrade entsprechen grundsätzlich der Theorie, dass der Gegenstromzyklon allgemein als der effizientere Abscheider gilt. Dies lässt sich durch verschiedene Gründe erklären. Zum einen bewirkt das größere Bauvolumen bzw. die größere Trennfläche des Gegenstromzyklons eine deutlich längere Verweilzeit der Partikel im Abscheideraum und begünstigt somit die radiale Sedimentation der Partikel. Des Weiteren werden dadurch die der Sedimentation entgegenwirkenden radialen Strömungsgeschwindigkeiten nach Innen reduziert, was wiederum in einer effizienteren Abscheidung resultiert. In diesem Zusammenhang konnten beispielweise Hoffmann et.al. [5] empirisch nachweisen, dass mit der Vergrößerung der Trennfläche der Abscheidegrad steigt, sowie gleichzeitig der Druckverlust abnimmt. Auch Sakin et.al. [6] führten einen Zyklonvergleich durch und konnten ebenfalls eine Erhöhung des Abscheidegrads mit zunehmender Trennfläche beobachten. Als Gründe hierfür wurden die längere Verweilzeit sowie die Strömungsumkehr genannt. Die größere örtliche Trennung zwischen Grobgutaustrag und Reingasaustritt im Vergleich zum Gleichstromzyklon begünstigt ebenfalls eine bessere Abscheidung. Andererseits lässt sich der niedrigere Abscheidegrad des Gleichstromzyklons durch den deutlich kleineren Tauchrohrdurchmesser und der damit einhergehenden vielfach höheren Tauchrohraxialgeschwindigkeit begründen. Nach Muschelknautz [7] ist der entscheidende Bereich für die Abscheidung direkt vor der Tauchrohröffnung des Gleichstromzyklons. In diesem Bereich nimmt die radiale Geschwindigkeitskomponente kontinuierlich zu und besitzt nach Pillei [4] das Maximum in etwa auf Höhe der Tauchrohröffnung. Somit ist hier der Einfluss des Tauchrohrdurchmessers auf die Sogwirkung beim Gleichstromzyklon höher einzustufen und dementsprechend für die niedrigere Trennleistung verantwortlich. Hinsichtlich des höheren Druckverlusts des Gleichstromzyklons gilt der Tauchrohrdurchmesser und die daraus resultierende vielfach höhere Tauchrohraxialgeschwindigkeit als die maßgebliche Einflussgröße. Pillei [4] bestätigte dazu, dass der Tauchrohrdurchmesser den größten Einfluss auf den Gesamtdruckverlust hat. Auch Muschelknautz [7] nannte den Tauchrohrdurchmesser als wesentliche Einflussgröße auf den Druckverlust. Nach Muschelknautz kann dieser Druckverlust bis zu 90% des Gesamtdruckverlusts betragen.

4 FAZIT

Zusammenfassend überzeugt der Gegenstromzyklon sowohl hinsichtlich des höheren Abscheidegrads als auch in Hinblick auf den niedrigeren Druckverlust. Bei annähernd gleicher Trennleistung, siehe Markierungen in Abbildung 2 links, kann folglich der Gegenstromzyklon mit einem niedrigeren Betriebsvolumenstrom bzw. einer geringeren Eintrittsgeschwindigkeit bei gleichzeitig deutlich niedrigerem Druckverlust betrieben werden. Dazu benötigt beispielsweise der Gegenstromzyklon für einen Abscheidegrad von etwa 90 % einen um ca. 15 % niedrigeren Betriebsvolumenstrom bei gleichzeitig lediglich ca. 20 % des Druckverlusts im Vergleich zum Gleichstromzyklon. Somit erweist sich der Gegenstromzyklon, ungeachtet des größeren Bauvolumens, als der deutlich effizientere Abscheider der untersuchten Zyklonausführungen. Bei begrenztem Installationsraum, beispielsweise als Miniaturanwendung (Vorabscheider in Multizyklonblöcken), würden sich hingegen Gleichstromzyklone bei ähnlichen Geometrie- und Betriebsparametern durch einen geringeren Druckverlust bei jedoch ebenfalls geringeren Abscheidegrad charakterisieren [7]. Die einfache Integrierbarkeit in Rohrleitungen sowie die einfachere Möglichkeit für Parallelschaltungen in Multizyklonblöcken gilt hier jedoch als ein wesentlicher Vorteil. Unabhängig von der Baugröße sowie der abzutrennenden Partikel ist jedoch stets von einem höheren Abscheidegrad des Gegenstromzyklons bei gleichem Druckverlust auszugehen.

5 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] W. Peng, A. C. Hoffmann, H. Dries, „Separation characteristics of swirl-tube dust separators“, *AIChE Journal* 50 (1) (2004) 87-96.
- [2] E. Muschelknautz, „Die Berechnung von Zyklonabscheidern für Gase“, *Chemie Ingenieur Technik*, 44 (1-2), 63, 1972.
- [3] W. Barth, „Berechnung und Auslegung von Zyklonabscheidern aufgrund neuer Untersuchungen, Brennstoff-Wärme-Kraft, Band 8, VDI-Verlag, 1956.
- [4] M. Pillei, „Optimierung von Gleichstromzyklonen bei geringer Feststoffbeladung“, Dissertation, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), Erlangen, 2020.
- [5] A. C. Hoffmann et.al., „Advantages and risks in increasing cyclone separator length“, *AIChE Journal* 47 (11) (2001), 2452.
- [6] A. Sakin, I. Karagoz, A. Avci, „Performance analysis of axial and reverse flow cyclone separators“, *Chemical Engineering and Processing – Process Intensification*, 2019, 144, 107630.
- [7] U. Muschelknautz, „Design criteria for multicyclones in a limited space“, *Powder Technology*, 2019, 357, 2.