

Modellierung und Simulation der Abscheidung von ultrafeinen Partikeln

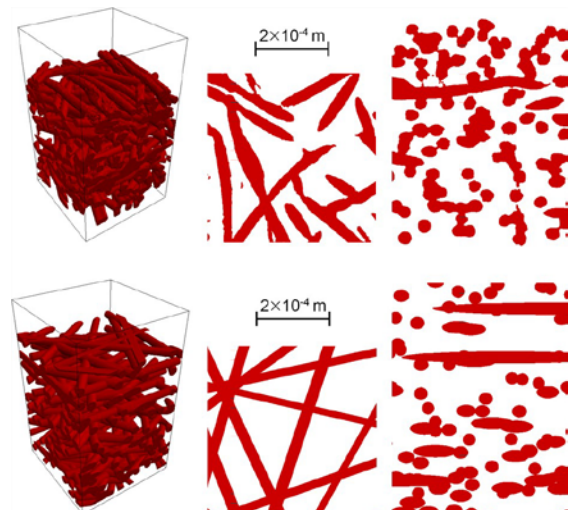
Problem

Wie in vielen Bereichen der Verfahrenstechnik besteht auch bei der Partikelabscheidung mit Tiefenfiltern der Wunsch, den jeweiligen verfahrenstechnischen Prozess mit natur- und ingenieurwissenschaftlichen Gesetzen so weit zu erfassen, dass er mathematisch modelliert werden kann. Im Fall der Luftfiltration können dabei folgenden Ziele verfolgt werden:

- schnelle und kostengünstige Entwicklung optimierter Filtermedien
- Auslegung von Filtern und ihre Anpassung an das jeweilige Separationsproblem
- Optimierung der Filtration, z. B. in Verbindung mit einer Lebenszyklusmodellierung.

In der Literatur sind zahlreiche mathematisch formulierte und physikalisch begründete Modelle zur Tiefenfiltration beschrieben. Sie gehen jedoch alle von vereinfachenden Annahmen aus und erlauben nur innerhalb bestimmter Grenzen eine hinreichend gute Abschätzung der realen Vorgänge.

Ein großer Teil der Modelle legt die Abscheidemechanismen an einer einzelnen Faser des Filtermittels zugrunde und überträgt diese dann unter Berücksichtigung gemittelter Strukturparameter des Filtermittels auf eine Filterfläche. Die tatsächliche Struktur des Filtermittels und die darin stattfindende komplexe Strömung werden nicht berücksichtigt.



3D-Modell der Tomographie (oben, links) und des generierten Filtermediums (unten, links), Ansicht von oben (mitte), Seitenansicht (rechts)

Für viele Anwendungen werden optimierte Tiefenfilter angeboten, die empirisch über viele Jahre an die jeweilige Anwendung angepasst wurden.

Aktivitäten

Zur ersten Beurteilung der Abscheidewirkung von Filtermedien können die vom Hersteller angegebenen Parameter herangezogen werden. Dazu gehören z. B. das Material, die Porosität bzw. das Flächengewicht, die Schichtdicke, die Fadenfeinheit bzw. die Fadendurchmesserverteilung und die Luftdurchlässigkeit bei einem definierten Testdruck. Zur Ermittlung von Fraktionsabscheidegraden sind aufwendige experimentelle Untersuchungen notwendig. Abschätzungen diesbezüglich können

jedoch auch mit phänomenologischen Berechnungsansätzen auf der Basis von empirischen Gleichungen unter Berücksichtigung der genannten Filtermittelparameter oder mittels numerischer Simulationen vorgenommen werden. Die Abscheidung von geringkonzentrierten ultrafeinen Partikeln an mikrostrukturierten Medien wurde untersucht und zunächst eine Reihe verschiedener Filtermedien bezüglich ihrer Gesamt- und Fraktionsabscheidegrade bewertet. Für ein exemplarisches Filtermedium wurden verschiedene Methoden zur Bestimmung der Fraktionsabscheidegrade im Detail dargestellt und miteinander verglichen. Bei diesen Methoden handelte es sich um Messungen mit dem Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS), empirische Ansätze und 3D-Simulationen.

Ergebnisse und Verwendung

Für das bewertete Filtermedium zeigte der direkte Vergleich von Messungen und Simulationsergebnissen eine gute Übereinstimmung. Bestätigen sich diese Ergebnisse auch für andere Filtermedien, so kann durch die Nutzung von 3D-Simulationen die Herstellung und Auswahl von geeigneten Filtermedien deutlich verbessert und vereinfacht werden.

Nutzerkreis

Firmen und Personen, die Filtermaterialien herstellen bzw. nutzen/anwenden; Unfallversicherungsträger

Weiterführende Informationen

- Shaw, D. T.: Fundamentals of Aerosol Science. Wiley, New York 1978, S.165-256

- Schmidt, K.: Dreidimensionale Modellierung von Filtermedien und Simulation der Partikelabscheidung auf der Mikroskala, Doktorarbeit. Fortschritt-Berichte, Band 5. Technische Universität Kaiserslautern, 2011
- Hellmann, A.; Ripperger, S.; Müller, K. W.; Berges, M.; Möhlmann, C.: Abscheideverhalten von ultrafeinen Stäuben und Nanopartikeln an Atemschutzmasken. 18. Erfurter Tage, 2.-3. Dezember 2011 – Vortrag, S.137-141. In: Prävention von arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren und Erkrankungen. Hrsg.: Kirchner, C.-J.; Stadeler, M.; Scholle, H.-C. Bussert & Stadeler, Jena 2012
- Löffler, F.: Staubabscheidung mit Schlauchfiltern und Taschenfiltern. Hrsg.: Dietrich, H.; Flatt, W. Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig 1984
- Hellmann, A.; Schmidt, K.; Ripperger, S.: Berechnung der Staubabscheidung in faserförmigen Filtermedien. F&S Filtrieren und Separieren 26 (2012) Nr. 6, S. 396-404

Fachliche Anfragen

Fachbereich 3: Gefahrstoffe: Umgang – Schutzmaßnahmen

Technische Universität Kaiserslautern, Lehrstuhl für Mechanische Verfahrenstechnik

Literaturanfragen

IFA, Zentralbereich