

Kompendium zur Übertragbarkeit der physikalischen, mechanischen und elektrostatischen Eigenschaften von Flachfiltermedien auf plissierte Filter

Minipleat-Filterelemente, auch bezeichnet als Kassettenfilter, Panelfilter oder Filterzellen, werden durch Faltung von Flachfiltermedien hergestellt. Durch die v-förmigen oder annähernd parallelen Falten wird die Filtrationsfläche vergrößert und damit kann das i. d. R. limitierte Platzangebot in Luftreinigungsanlagen und Raumluftfiltern optimal ausgenutzt werden. Bei der Entwicklung und Auslegung von Filterelementen muss immer ein Kompromiss eingegangen werden zwischen der Realisierung eines an die Filtrationsaufgabe angepassten hohen Abscheidegrades und eines möglichst niedrigen Differenzdrucks, um einerseits die anvisierte Partikelkonzentration auf der Reinluftseite zu erreichen (hoher Abscheidegrad) und andererseits die Betriebskosten zu minimieren (niedriger Differenzdruck).

Das Forschungsvorhaben hat daher insbesondere die Optimierung des Differenzdrucks für die Auslegung von Faltenfilterelementen zum Ziel. Die Ergebnisse des Vorhabens sollen in einem Leitfaden zur beschleunigten Entwicklung energieeffizienter Faltenfilterelemente zusammengetragen werden, sodass Anwender anhand weniger und bekannter Eigenschaften der verwendeten Flachfiltermedien, z. B. Luftdurchlässigkeit und Dicke sowie Design-Parametern der Faltung, wie Faltenhöhe und Faltenanzahl, den daraus folgenden Differenzdruck bei vorgegebenem Volumenstrom unmittelbar prognostizieren können.

Die Höhe der Filterelemente richtet sich nach der Anwendung und dem zur Verfügung stehenden Platzverhältnissen. Beispielsweise liegen bei Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung in Niedrigenergiehäusern oder bei raumluftechnischen Anlagen in Gebäudekomplexen die üblichen Kassettenhöhen zwischen 25 mm und 96 mm. Am häufigsten werden Kassetten mit einer Höhe von 48 mm eingesetzt.

Die Anzahl der Falten pro Längeneinheit muss unter Berücksichtigung der mechanischen und physikalischen Eigenschaften des Flachfiltermediums sowie der Strömungsgeschwindigkeit ermittelt werden, um dem theoretischen Minimum des Differenzdrucks möglichst nahe zu kommen. Ausgehend vom Minimum des Differenzdrucks nimmt bei abnehmender Faltenanzahl pro Längeneinheit der Differenzdruck auf Grund der geringeren Filtrationsfläche und der daraus resultierenden größeren Durchströmungsgeschwindigkeit im Filtermedium zu. Bei zunehmender Faltenanzahl nimmt der Differenzdruck ebenfalls zu, in diesem Fall auf Grund des steigenden Strömungswiderstands in den enger werdenden Faltenzwischenräumen.

Um das Minimum des Differenzdrucks bei der Auslegung und Herstellung plissierter Filterelemente zu erreichen, greifen mittelständisch geprägte Elementhersteller auf deren Praxiswissen zurück. Um jedoch schneller wechselnde Kundenanforderungen bedienen zu können, ist eine schnelle Anpassung der Parameter zur Faltung notwendig, insbesondere auch für neue Filtermedien, für die noch kein Praxiswissen zur optimalen Elementfertigung vorliegt. In diesem Fall müssen zeit- und kostenintensive Versuche und Prüfungen durchgeführt werden, um die optimale Faltenanzahl pro Längeneinheit zu ermitteln.

Der Lösungsansatz im Forschungsvorhaben beinhaltet sowohl numerische Simulationen mit der Software Geodict als auch experimentelle Untersuchungen und standardisierte Prüfungen zur Validierung der numerischen Simulationen. Insgesamt fünf verschiedene Feinstaubfiltermaterialien innerhalb der Filtergruppen ePM1 bis ePM10 wurden auf der Mikrostruktur- und Makrostruktur-Ebene numerisch modelliert, „virtuell gefaltet“ und mit den Ergebnissen der entsprechenden realen Faltenfilterelemente verglichen. Die folgende Abbildung 1 zeigt das Beispiel eines realen gefalteten Filtermediums (Ansicht seitlich) und eines konfektionierten Faltenfilterelements (Ansicht von oben) sowie ein Beispiel der numerischen Berechnung zur Verteilung der Strömungsgeschwindigkeit im Bereich der Falten.

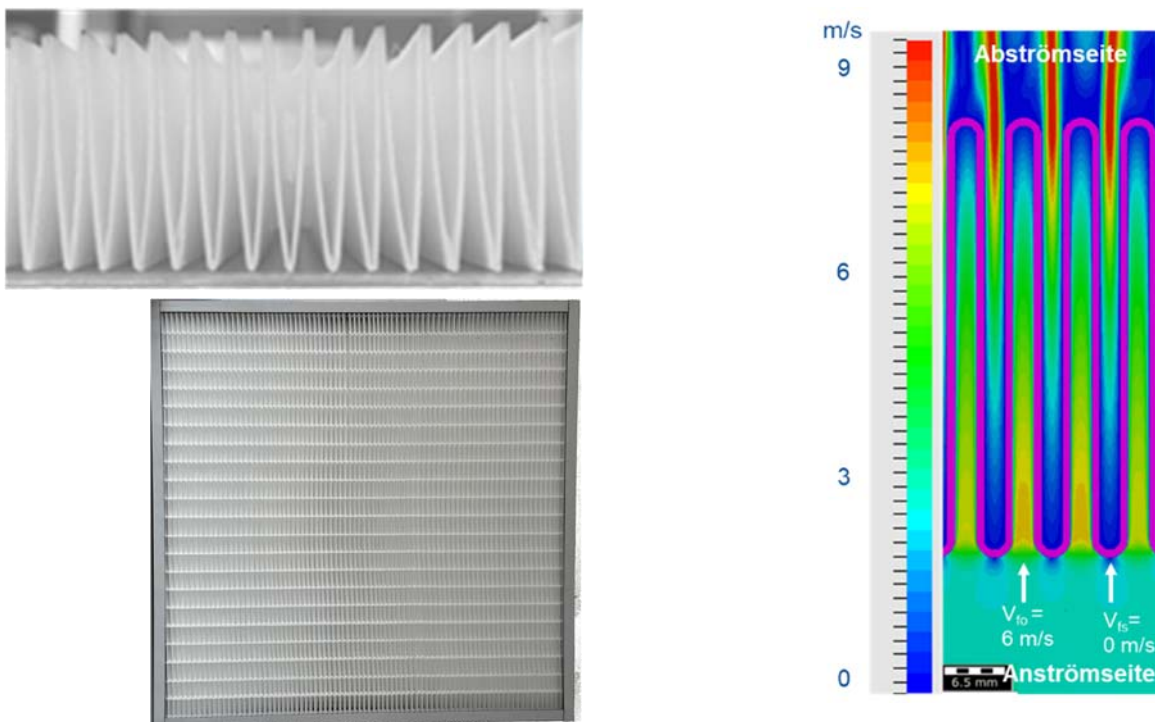


Abb. 1: Beispiele eines gefalteten Filtermediums (links oben), eines konfektionierten Faltenfilterelements (links unten) und einer numerisch berechneten Verteilung der Strömungsgeschwindigkeit im Bereich der Falten für eine mittlere Anströmgeschwindigkeit von rund 3 m/s im durchströmten Querschnitt (rechts).

Die Ergebnisse der Simulationen und Experimente zeigen eine gute Übereinstimmung für die Annahme dreieckiger bzw. rechteckiger Falten. Die tatsächliche Faltenform hängt von der Steifigkeit des Filtermediums und dem Faltungsprozess, wie z. B. Anzahl, Breite und Länge der sogenannten Kleberrauten zur Fixierung der Faltung ab. Diese Einflussfaktoren werden aktuell von der numerischen Modellierung nicht erfasst, alternativ werden ideal dreieckige oder rechteckige Falten angenommen. Die entsprechenden experimentellen Ergebnisse liegen hauptsächlich im Bereich der zwei Grenzkurven, wie beispielsweise Abbildung 2 zeigt.

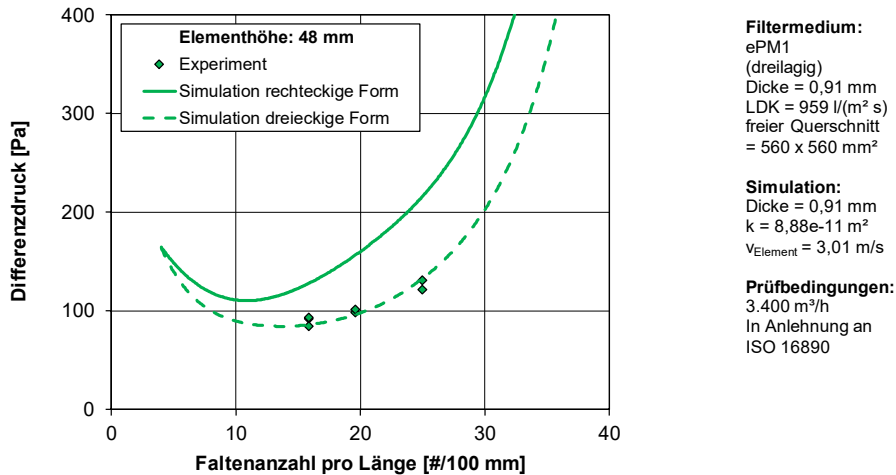


Abb. 2: Vergleich der numerisch und experimentell ermittelten Differenzdrücke für ein gefaltetes dreilagiges Filtermedium der Filtergruppe ePM1.

Auf Basis dieser Ergebnisse wurden Parameter-Variationen mit der Software Geodict zur Generierung virtueller Faltenfilterelemente im relevanten Wertebereich für die Filtergruppen ePM1 bis ePM10 durchgeführt:

- Mediumdicke: 0,2 bis 1,2 [mm]
- Permeabilität: $2,5 \times 10^{-11}$ bis $2,5 \times 10^{-10}$ [m²]
- Faltenhöhe: 12 bis 150 [mm]
- Faltenanzahl pro Länge: 4 bis 40 [# / 100 mm]
- Volumenstrom: 1.700 bis 3.400 [m³/h]

Im Ergebnis stehen gegenwärtig über 300 Datenpunkte für den Zusammenhang zwischen dem Differenzdruck am Faltenfilterelement und den Einflussparametern Mediendicke und Permeabilität (berechnet aus der Luftdurchlässigkeit), Faltenhöhe und Faltenanzahl pro Längeneinheit, Faltenform und Volumenstrom zur Verfügung. Für die rechteckige Faltenform sind in der folgenden Abbildung 3 beispielhaft die Verläufe des Differenzdrucks für einige Parameter-Variationen dargestellt.

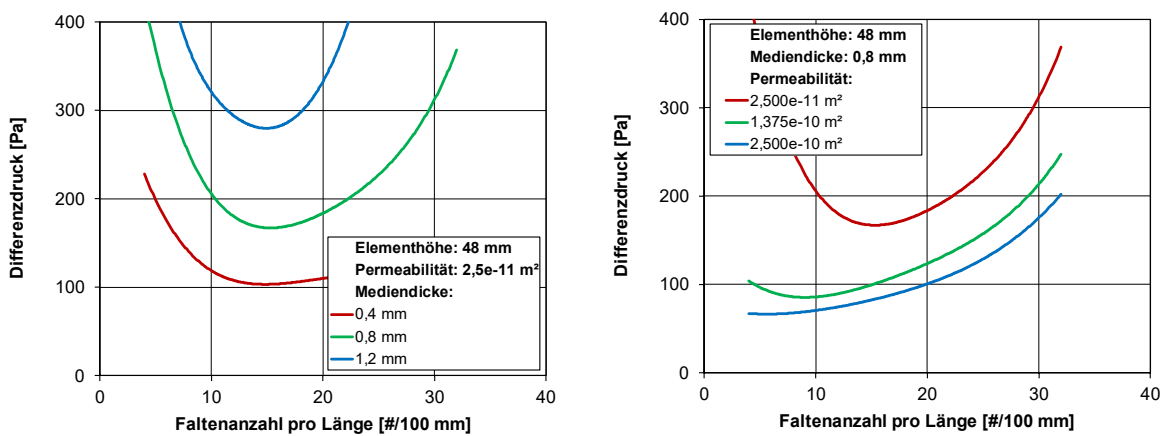


Abb. 3: Beispiele für Parameter-Variationen berechnet mit der Software Geodict für virtuelle Faltenfilterelemente im relevanten Wertebereich der Filtergruppen ePM1 bis ePM10 bei einem freien Querschnitt von 560 x 560 mm², einer Anströmgeschwindigkeit von rund 3 m/s und einem Volumenstrom von 3.400 m³/h.

Das abschließende Ziel des Forschungsvorhabens ist es, den ermittelten Datensatz bzw. die dargestellten Verläufe des Differenzdrucks über eine Näherungsgleichung auf Basis eines mathematischen Modells zu entdimensionalisieren und die maßgeblichen Einflussfaktoren zu identifizieren. Dies soll mit Hilfe des sog. Buckingham'schen Pi-Theorems zur Ähnlichkeitstheorie und Dimensionsanalyse erfolgen. Letztendlich soll eine Näherungsgleichung ermittelt werden, die über sog. dimensionslose Pi-Gruppen mit den relevanten Einflussparametern, die oben gezeigten unterschiedlichen Kurvenverläufe in eine einzelne und den gesamten Datensatz umfassende Näherungskurve überführt. Mit Hilfe dieser Näherungsgleichung als Funktion der Pi-Gruppen können die oben gezeigten Parameter-Variationen rekonstruiert werden. Die Berechnung des Differenzdrucks als Funktion der Faltenanzahl pro Längeneinheit wird durch diesen Ansatz erheblich beschleunigt, da die Ergebnisse der Näherungsgleichung unmittelbar in einer Tabellenkalkulation zur Verfügung stehen. Es wird erwartet, dass die Berechnungen mit der Näherungsgleichung für einen vollständigen Kurvenverlauf in der Größenordnung von Sekunden liegen.

Das Ziel des Forschungsvorhabens, die zeit- und kostenintensiven Versuche und Prüfungen zur Auslegung von plissierten Filtern zu minimieren, wird durch Adaption der erarbeiteten Näherungsgleichung in ein wissenschaftlich basiertes und insbesondere praxisgerechtes Kompendium erreicht. Mit Hilfe des Kompendiums sollen mittelständisch geprägte Medienhersteller und Konfektionäre in die Lage versetzt werden, anhand der Eigenschaften der Flachfiltermedien und der anvisierten Anwendung die Auslegung energieeffizienter plissierter Filter auf möglichst schnelle Art und Weise zu ermitteln.

Förderhinweis:

Das Forschungsprojekt wird über die Projektförderung „INNO-KOM“ durch den Projektträger EURONORM GmbH vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert.



INNO-KOM