DHCAE CFD-Löser für Filteranwendungen



Strömungssimulationen (CFD) werden vielfach eingesetzt, um Bauteile und Prozesse zu optimieren. DHCAE hat eine umfangreiche Erweiterung der renommierten CFD-Toolbox OpenFOAM® vorgenommen, um gezielt Filteranwendungen zu modellieren und die Anströmung und Auslegung von Filtern zu optimieren.

Typische Anwendungsgebiete in der Filterentwicklung, -herstellung und im Anlagenbau Das Simulationstool kann überall dort eingesetzt werden, wo feste Partikel aus Gasen oder Flüssigkeiten mit dünnen Filtermedien in einer Anlage oder einem Gerät abgetrennt werden.

Typische Einsatzbereiche sind hierbei:

- **Luft-Filtrationsprozesse**, z.B. für Abgasreinigung, Säuberungsgeräte, Atemschutz, Raumreinhaltung
- Flüssigkeits-Filtrationsprozesse, z.B. für Wasserreinhaltung, Klärprozesse, Ölaufbereitung, Treibstoffreinigung
- sowie komplette Anlagen zur Luftreinhaltung oder Geräte, in denen dünnwandige Filter verwendet werden.

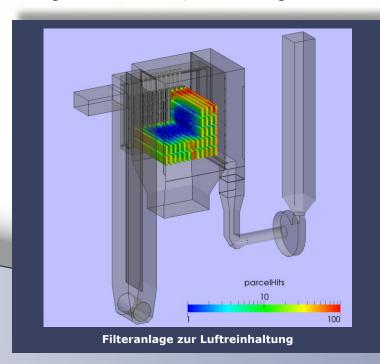
Ihr Nutzen aus der Filtermodellierung:

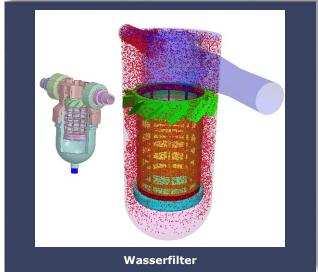
Bereits in der Entwicklung, ohne einen Prototyp zu bauen, kann die Anströmung an den Filter optimiert werden. Dies führt zu einer

- höheren Filtereffizienz,
- besseren Ausnutzung des Filtermaterials und
- einer energetischen Prozessoptimerung durch einen geringeren Druckverlust.

Modellierungsansatz

Die verwendete Modellierung beruht auf einem sogenannten Euler-Lagrangeschen Ansatz, der die kontinuierliche Strömung und die dispergierten Feststoffpartikel berücksichtigt. In dem Berechnungstool wird insbesondere die Rückwirkung der Partikel am Filter auf die Strömung, wie z.B. eine fortlaufende Verlagerung der Strömung in Zonen niedrigeren Widerstands, berücksichtigt.





Durch den gewählten Modellierungsansatz kann ein breites Spektrum an Anwendungsfällen abgedeckt werden:

Die Partikel können

- unterschiedliche Größen aufweisen (Berücksichtigung von Größenverteilungen),
- eine von der kontinuierlichen Strömung abweichende Bahnkurve verfolgen (z.B. aufgrund ihrer Trägheit, turbulenter Dispersion, Erdschwere oder anderen Kräften).

Die kontinuierliche Phase des Trägermediums kann ein Gas oder eine Flüssigkeit sein. Es können sowohl einzelne Filter als auch eine Vielzahl von Filtern mit unterschiedlichen Eigenschaften (wie z.B. unterschiedlicher Widerstands-Charakteristik) vorgegeben werden.

DHCAE Tools Erweiterungen für Filteranwendungen auf Basis der OpenFOAM®-Technologie

Das OpenFOAM®-Basissystem wurde von DHCAE Tools mit gezielten Modellerweiterungen an die Bedürfnisse der Industrie für Filterentwicklung und -herstellung angepasst. Diese Erweiterungen wurden in den von DHCAE Tools angepassten Lösern für die Filterindustrie bereits vorgenommen und werden Ihnen als Pakete vollständig zur Verfügung gestellt.

Filtermodell: Beladungsabhängiger Widerstand

Der Filter wird durch eine Geometrie oder Gitterfläche detektiert. Dies ermöglicht eine einfache Erstellung im CAD-System und stellt eine weit geringere Anforderung an die Netzgenerierung als eine volumenbasierte Modellierung.

Basierend auf dieser Definition werden zwei Lösungsansätze zur Verfügung gestellt:

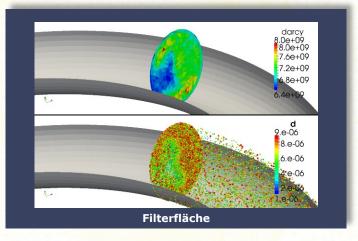
- Der Anwender kann sowohl den Grundwiderstand des unbeladenen Filters als auch die Widerstandserhöhung durch die Partikel durch die Flächenformulierung beschreiben.
- Der Grundwiderstand kann durch eine automatisch detektierte Volumenmodellierung vor und hinter dem Filter abgebildet werden, während die Widerstandserhöhung durch die Partikelbeladung durch die Fläche modelliert wird.

Mit den beiden Optionen lässt sich ein weites Spektrum mit unterschiedlichen Filtern, die stark unterschiedliche Grundwiderstandswerte aufweisen, numerisch effizient abbilden.

Filterflächeneigenschaften

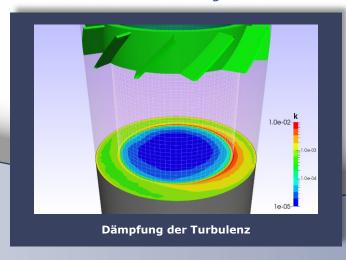
Für die weitere Modellierung werden in jeder • Es stehen verschiedene Widerstands-Charakdieser Flächen gespeichert:

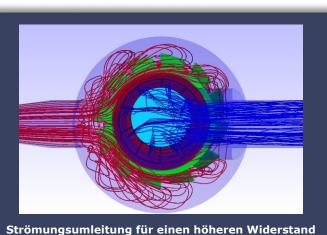
- Lokale Partikelbeladung (z.B. Masse pro Kubikmeter)
- Anzahl der Partikeltreffer zur Beurteilung der statistischen Zuverlässigkeit der Ergebnisse
- Darcy & Forchheimer-Anfangswerte
- Variable Darcy & Forchheimer-Werte, abhängig von der Filterbeladung
 - Masse
 - Partikelgröße
 - Zeitraum der Beladung



Kernfunktionalität

- Die Simulation berücksichtigt die veränderlichen lokalen Widerstände auf den Filterflächen.
- teristika zur Verfügung.
- Es können mehrere verschiedene Partikelarten in das System eingegeben werden, die unterschiedlich mit dem Filter interagieren (z.B. können sehr kleine Partikel auch Filter passieren).
- Die Strömung kann beim Durchfließen des Filters umgelenkt werden, so dass das Fluid flächennormal abströmt.
- Die Turbulenz kann beim Durchströmen des Filters gedämpft werden.

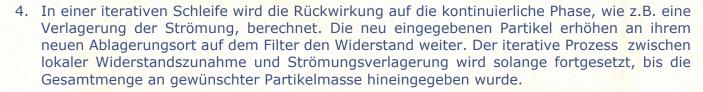




Allgemeiner Iterationsprozess

Das Ablagerungsmodell an Filterflächen mit Partikeltransport ist in einen Iterationsprozess mit der kontinuierlichen Phase integriert. Damit können die Wechselwirkungen der kontinuierlichen Phase mit einem oder mehreren Filtern berücksichtigt werden.

- Bei der Berechnung mit dem Filtersolver wird im ersten Schritt das Strömungsfeld der kontinuierlichen Phase gelöst. Hier werden die Druck- und Geschwindigkeitsfelder für den unbeladenen Filter berechnet.
- 2. Anschließend wird eine kleine Menge an Partikeln hinzugegeben und deren Endposition berechnet. Diese Position kann das Anhaften am Filter oder auch deren Ablagerung im Gehäuse sein.
- 3. Die am Filter abgelagerten Partikel erhöhen lokal den Widerstand gemäß einer vorgegebenen Charakteristik.



5. Auch kann die bei einigen Filtrationsprozessen übliche Abreinigung mit Start von einem neuen Grundzustand her berücksichtigt werden.

Stabile und schnelle Berechnung

In diesen Iterationsprozess wurde eine Vielzahl von Maßnahmen zur Stabilisierung und Berechnungsbeschleunigung integriert:

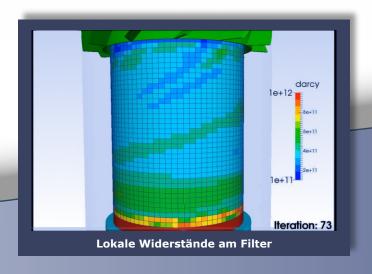
- Filterstabilisierung (z.B. durch lokale Unterrelaxation)
- Verbesserte parallele Berechnung des Partikeltransports
- Verschiedene Möglichkeiten der Iterationskontrolle bei der Kopplung

Ihre Eingabedaten in die Berechnung sind hierbei:

- Eintrittsgeschwindigkeit in der kontinuierlichen Phase, wie z.B. ein Gas oder Flüssigkeitsvolumenstrom mit Stoffwerten (Viskosität, Dichte)
- Eine Partikeldichte, -menge und -größe oder auch eine Größenverteilung
- Die charakteristischen Eigenschaften Ihres Filters, beispielsweise der Grundwiderstand im unbeladenen Zustand und die Widerstandserhöhung bei Partikelbeladung, wie sie im Versuchsstand ermittelt wurden.

Ergebnis der Simulation:

- Die lokale Beladung der Filter als Masse oder Massenanteil
- Die lokalen Widerstände
- Die Drücke und Stromlinien für die kontinuierliche Phase
- Die allmähliche Verlagerung der Strömung durch lokale Widerstandserhöhung am Filter während eines Zyklus



Stationäres Strömungsfeld kontinuierliche Phase

Partikeltransport mit LTS

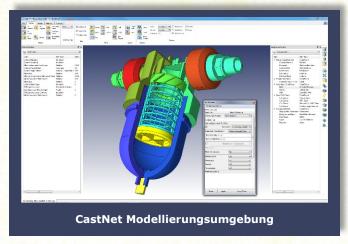
Widerstands Update

Abreinigung

CastNet Integration

Zum Arbeiten mit dem Filtersolver stehen dem Anwender zwei Möglichkeiten zur Verfügung:

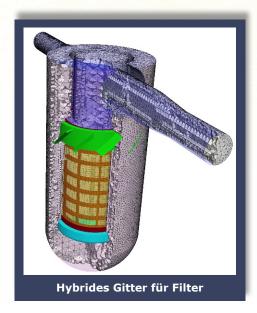
- Das textfile-basierte Arbeiten, wie unter OpenFOAM® üblich. Diese Arbeitsweise eignet sich für erfahrene OpenFOAM®-Anwender, oder wenn Sie bereits einen CFD-Workflow für Open-FOAM® in Ihrem Unternehmen integriert haben.
- Alternativ können Sie Ihren Filterberechnungsfall in CastNet definieren: CastNet ist ein von DHCAE Tools entwickeltes Pre-Prozessing- und Berechnungskontrollsystem für die frei verfügbaren CFD/FEA-Systeme OpenFOAM® und CalculiX. Durch gezielte Anpassungen und Erweiterungen von OpenFOAM® für Filteranwendungen wurde von DHCAE Tools ein kosteneffizientes, zuverlässiges und stabiles Auslegungswerkzeug für die Filterindustrie geschaffen.



Sollten Sie neben Filtern andere Anwendungsbereiche im Bereich der Strömungssimulation oder Strukturmechanik besitzen, können Sie diese ebenfalls mit CastNet modellieren: Es steht Ihnen der volle Funktionsumfang zur Verfügung.

Vernetzung für Filteranwendungen

In CastNet werden die Modelle aus Ihrem CAD-System im hochwertigen CAD-Kernel-Format eingelesen und stehen dort zur Vernetzung und Definition der Lösereinstellungen zur Verfügung.



Die von CastNet bereitgestellten Vernetzungstechnologien ermöglichen die Berücksichtigung unterschiedlicher Anforderungen an die Gittergenerierung:

- In der hybriden Vernetzung können durch Prismen-Layer auf den Filtern Details und Drucksprünge besonders gut aufgelöst werden. Hexaeder-Kern-Gitter führen zu zuverlässigen und stabilen Ergebnissen. Wandnahe Bereiche werden mit Prismen-Boundary-Layern vernetzt.
- Alternativ steht die Netzgenerierung mit snappyHex-Mesh in CastNet zur Verfügung. Mit wenigen Minuten Definitionsaufwand können auch sehr große, hexaederdominante Gitter für komplexe Filteranordnungen auf mehreren CPU-Kernen parallel generiert werden.

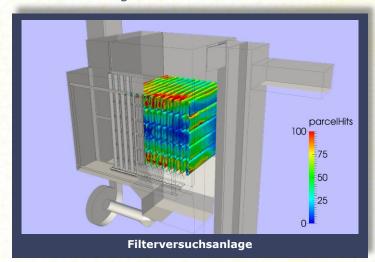
Modellierung für Filteranwendungen

Die Modellierung für Filteranwendungen wird dem Anwender besonders einfach gemacht:

- Die Filterflächen können direkt im CAD-Modell angewählt werden.
- Die Definition der Filterparameter und der Lösungseigenschaften in der Kopplung der Partikel mit der kontinuierlichen Phase wird direkt im GUI vorgenommen.
- Durch vorgefertigte oder eigenerstellte Templates ist der Berechnungsfall mit wenigen Klicks definiert.
- Der gesamte Prozess mit allen Ausgabedateien ist in den automatischen Workflow integriert.

Validierung an Realwelt-Anlagen

Die Modellierungsansätze am Filterelement wurden durch Reproduktion von Literaturdaten validiert.



Darüber hinaus steht uns für die explizite Nutzung zu Validierungszwecken eine Versuchsanlage mit 60 Taschenfiltern und Filterabreinigung mittels Druckstoß zur Verfügung.

Hier werden im Rahmen von Master-Arbeiten die numerischen Modelle validiert und zusätzliche Effekte, wie z.B. der Einfluss von Fluid-Struktur-Interaktion, genauer untersucht. Neu gewonnene Erkenntnisse und die gesammelten Erfahrungen fließen direkt in die weitere Softwareentwicklung ein.

Support und Anpassung inklusive:

In das Paket für den Filtersolver ist immer ein Support- und Anpassungspaket eingeschlossen. Hiermit passen wir die Lösungsmöglichkeiten des Tools an Ihre speziellen Bedürfnisse an. Sollten Sie z.B. eine spezielle Form der Beladungs-Charakteristik für Ihre Filter benötigen, wird diese unmittelbar von uns umgesetzt. Auch unterstützen wir Sie in der Anwendung des Solvers.

Eine Testumgebung steht für Sie bereit:

Für einen Test der Filtersimulation steht Ihnen eine komfortable Testumgebung mit Beispielen über das Internet zur Verfügung. Hier können Sie auch Ihre Filteranwendung direkt testen und abschätzen, welche Hardwareressourcen später für Sie erforderlich sein werden.

Simulationsumgebung:

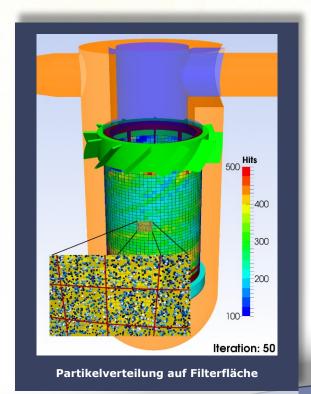
Auf Wunsch erhalten Sie von uns auch das Komplettsystem (inkl. OpenFOAM®-Installation). Wir empfehlen eine Linux-Workstation als Simulationsumgebung.

Alternativ können Sie unseren direkten Cloud-Zugang verwenden und Berechnungen auf externen Rechenzentren durchführen. Im Lieferumfang sind selbstverständlich die OpenFOAM®-Ouellcodes enthalten.



Wissenschaftliches Förderprogramm

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie unterstützt unsere innovativen Entwicklungen zur Filtermodellierung durch eine Förderung im "ZIM-Programm".





DHCAE Tools GmbH

Adresse: Alte Rather Str. 207
Telefon: +49 2151 9490-200
Webseite: www.dhcae-tools.de

47802 Krefeld, Deutschland Fax: +49 2151 9490-209 E-Mail: info@dhcae-tools.de