

Fachartikel CFD Simulation im Reinraum



Mit Strömungssimulation (CFD) zum optimalen Reinraumdesign

Der Einsatz rechnergestützter Engineering Werkzeuge ist aus der modernen Produktentwicklung nicht mehr wegzudenken. Ebenfalls in der Planung von Reinraumanlagen und ganzen Reinräumen ist der Einsatz der Strömungssimulation heute bereits weit verbreitet. AFC Air Flow Consulting AG bietet integral und umfassende Dienstleistungen für CAE (Computer Aided Engineering), insbesondere CFD (Computational Fluid Dynamics) für die Gebäude- wie auch die Verfahrenstechnik und die Produktentwicklung an. Die ganzheitliche Unterstützung hilft bei Entwicklung und Design von Reinräumen den Planungszeitraum zu beschleunigen, die Planungsrisiken zu minimieren und gleichzeitig bessere Lösungen zu erarbeiten.

Die Anforderungen an die Produktion in reinen Umgebungen werden immer höher, die Projektführung wird immer schwieriger. Nur integrierte und automatisierte Lösungen aus einer Hand sind erfolgsversprechend, um komplexe CAE-Fragen in der Reinraumtechnik effizient bearbeitet zu können. Aus diesem Grund übernimmt AFC das Pre-Processing (CAD und Vernetzung), führt die Berechnungen durch und erarbeitet quantitative und qualitative Auswertungen, die auf Knopfdruck verfügbar sind. Abschliessend werden dynamische Visualisierungen erstellt, die den Planungs- und Entscheidungsprozess vereinfachen, Fehlentwicklungen ausschliessen und den gesamten Designprozess GMP gerecht dokumentieren. AFC begleitet das Projekt von Anfang an, integriert die langjährige Erfahrung aus unzähligen strömungstechnischen Untersuchungen in die Konzeptentwicklung und bietet somit optimale Lösungen für den Kunden.

Mit Strömungsanalysen können für die Reinraumtechnik folgende wichtige Fragen beantwortet werden:

- Wie ist die Luftströmung im Raum (Geschwindigkeitsverteilung, Wirbelbildung)? Sind die Zu- und Abluftpositionen optimal im Raum verteilt?
- Wie verteilen sich von Personen freigesetzte Partikel im Raum?
- Gibt es im Raum Akkumulationen von Partikeln, resp. können Reinheitsklassen im Raum eingehalten werden?
- Welche Auswirkungen haben bewegte Objekte auf die Strömungsverteilung im Raum (Türen, Transferwagen, Personen, Handlingroboter)?
- Wie wirken sich thermische Quellen auf die Luftströmung aus?
- Wird bei der H₂O₂-Dekontamination im Raum eine gleichmässige Verteilung erreicht?
- Wie sind die Luftströmungen innerhalb einzelner Anlagebauteile, wie z.B. Absaugkanäle, cRABS etc.?
- Wie können Details, wie beispielsweise Düsen strömungstechnisch optimiert werden?

Genauigkeit, Aufwand und Kosten der Simulation

Entgegen der weit verbreiteten Meinung ist die Strömungssimulation heute ein kostengünstiges und äusserst genaues Design- und Planungswerkzeug geworden. Durch weitgehend automatisierte Prozesse, ist es möglich mit wenigen Arbeitsschritten von der 3D-CAD Geometrie einer Anlage oder eines Reinraums zum vernetzten Berechnungsmodell mit mehreren Millionen Gitterknoten und daraus zum Berechnungsergebnis zu kommen.

Die Auswertung (Post-Processing) erfolgt heute vollautomatisch. In Absprache mit dem Kunden werden die benötigten graphischen Darstellungen und quantitative Auswertung festgelegt und daraus ein vollautomatischer Report für die Visualisierung erstellt. Somit werden alle Berechnungsvarianten einheitlich und vergleichbar dokumentiert. Gegenüber den Behörden ist somit ein lückenloser Design- und Planungsprozess nachvollziehbar dokumentiert.

Je früher die Computersimulation im Planungsprozess eingesetzt wird, desto geringer sind die anfallenden Kosten, der benötigte Zeitbedarf und desto grösser ist der mögliche Freiraum für Projektanpassungen. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, die Spezialisten bereits bei der Zieldefinition des Personen- und Produktschutz und der Konzeptentwicklung in den Planungsprozess zu involvieren.

Die Genauigkeit der Berechnungsergebnisse steht heute nicht mehr in Frage. Die grössten Unsicherheiten bei gebäudetechnischen Fragestellungen liegen bei den Ungenauigkeiten der Randbedingungen wie z.B. Partikelquellen (Ort- und Stärke), thermische Lasten, Störungen durch Leckagen etc.

Neue Fragestellungen die mit Simulation beantwortet werden

Durch neue Entwicklungen konnten AFC in den letzten Jahren neue Fragestellungen angehen und untersuchen, welche bis vor wenigen Jahren nur durch Tests mit Rauchversuchen am fertiggestellten Reinraum möglich waren. Einige dieser oft gefragten Effekte sind:

- Einfluss von bewegten Objekten auf die Luftströmung eines Laminar Flows, z.B. Personenbewegung, Handlingroboter
- Einschleppen von Partikeln durch Personen beim Übertritt von einer Raumzone in eine andere.
- Einfluss von Türbewegungen auf die Partikel- und Strömungsverteilung im Raum. Dabei können Raamtüren oder Wartungstüren von Maschinen untersucht werden.
- Komplexe Schüttvorgänge, welche zu Staub- und Partikelfreisetzen führen (z.B. an Belade- oder Wiegestationen)

Fallbeispiel: Vermeidung von Wirbeln

Bei der Planung eines scheinbar einfachen Reinraums für eine pharmazeutische Produktionsanlage wurde auf die Durchführung einer Strömungssimulation verzichtet. Nach Fertigstellung und Einregulierung der Anlage zeigte sich bei der Strömungsvisualisierung mit Nebel an der Wand eine starke Luftwalzenbildung, welche zur Aufwirbelung von Bodenpartikeln bis auf eine Höhe von rund 1.20 m führte. Um das Problem zu analysieren, und Verbesserungsvarianten zu prüfen, wurde beschlossen AFC beizuziehen.

Im ersten Schritt wurde der Ist-Zustand des Reinraums simuliert. Das Problem der Wirbelbildung konnte reproduziert werden und ist in Abbildung 3 dargestellt. Das Bild oben links zeigt einen Ausschnitt des Reinraums. Deutlich zu sehen sind die Wirbel, welche sich vorne am Boden bilden. Dies bewirkt eine Aufwirbelung bodennaher Partikel. Das Bild oben rechts zeigt in Rot die Bereiche hoher Partikelkonzentration.

Bei einer Begehung vor Ort wurde nach möglichen Lösungsansätzen gesucht, welche in dem bereits fertiggestelltem Raum noch realisiert werden konnten. Damit die sehr teuren Modifikationen möglichst optimal umgesetzt werden konnten, wurde die geplante Lösung ebenfalls simuliert. Nach mehreren Iterationen zeigte sich eine zuverlässige Lösung mit einer bodennahen Absaugung (Abbildung 3 unten).

Fallbeispiel: Partikeleinschleppung durch Personen

Beim untersuchten Raum handelt es sich um einen Zone A Raum, welcher innerhalb eines Zone B Raumes platziert ist. Zu beantworten war die Fragen nach dem Einfluss von Türöffnungen und Personenbewegungen auf den Zone A Raum. Erst mit den neusten Softwaretools und Prozessen können diese Vorgänge simuliert werden. Notwendig ist dabei eine transiente Simulation, d.h. eine Betrachtung über einen längeren Zeitraum, um die sich ergebenden Strömungsphänomene zu visualisieren. Abbildung 4 zeigt die Resultate im Zeitpunkt kurz nach dem Eintreten der Person in den Raum. Klar ersichtlich ist die höhere Partikelkonzentration hinter der Person. Die Simulation zeigte aber auch, dass auf Grund der hohen Luftwechselrate für diesen Fall die Partikelkonzentration sehr schnell reduziert wurde.

Fazit

Richtig eingesetzt, ist die numerische Strömungssimulation heute das effizienteste Instrument zur Reduktion der Planungsrisiken im Design von Produktionsanlagen mit hohen Anforderungen an den Produkt- oder Personenschutz. Dabei sind die durch die Simulation entstehenden Kosten im Normalfall weitaus geringer, als das durch die Optimierung ausgenutzte Sparpotential bei Installations-, Redesign- und Betriebskosten.

AFC unterstützt Sie mit erfahrenen Spezialisten und hochwertiger Software bei der Umsetzung Ihres Projekts.

Kontakt:

Dr. Daniel Gubler

AFC Air Flow Consulting AG, Zürich

Tel.: 0041/58-450 00 00 00

Info@afc.ch www.afc.ch