

Nutzen Sie das Potential virtueller Reinnräume!

Stefan Radl, Inffeldgasse 13/III, 8010 Graz. radl@tugraz.at. ippt.tugraz.at/simSci.

Was ist ein "virtueller Reinnraum"?

Virtuelle Reinnräume bilden reale Reinnräume bzw. Reinnraumsysteme digital ab. Ein einfaches Beispiel ist die Visualisierung von Reinnraumkomponenten auf Online-Plattformen, um zum Beispiel ein Produktportfolio vorzustellen. In den letzten Jahren wurden spezielle realitätsnahe virtuelle Reinnräume eingesetzt, z.B. in Rahmen von interaktiven virtuellen Trainings (siehe Abbildung 1). Beispielsweise ermöglichen diese Trainings die Aus- und Weiterbildung bereits vor dem Bau oder Umbau einer Anlage.

Ein weiterer Entwicklungssprung virtueller Reinnraumsysteme kann durch die Einbindung von physikalischen Vorgängen (z.B. durch die Simulation der Luftströmung) gelingen.



Abbildung 1: Schnappschuss einer virtuellen Trainingseinheit (<https://www.innerspace.at>).

Potentiale virtueller Reinnräume

Die Technologie virtueller Reinnräume wird in Standardwerken der Reinnraumliteratur [1] noch nicht erwähnt. Jedoch sind die damit verbundenen Potentiale bereits jetzt auf Basis einer breiten Palette an Forschungsprojekten (z.B. für die Entwicklung innovativer Schleusentechnologie durch Strömungssimulation [2]) abschätzbar.

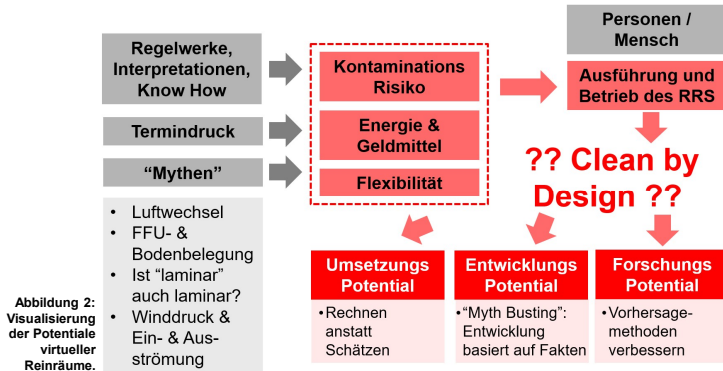


Abbildung 2: Visualisierung der Potentiale virtueller Reinnräume.

Gesamtanalyse Reinnraumsystem

Häufig betrachteten Strömungssimulationen nur den Reinnraum selbst, was eine holistische Betrachtung wesentlicher Aspekte (z.B. Gesamtdruckverlust, Ausbreitung von Gasen) ausschließt. Im Beispiel unten wird die Interaktion einzelner Komponenten im Reinnraumsystem analysiert, um auf die Wichtigkeit einer Gesamtanalyse hinzuweisen. Besonders die Anordnung der Filter-Fan-Units (FFUs) und deren Zusammenspiel mit den porösen Bodenplatten ist von herausragender Bedeutung. Die hier betrachteten Szenarien sind wie folgt charakterisiert:

- Simulation der Strömung in Plenum, Reinnraum, Doppelboden und Rückstromzone
- Mehrere Hindernisse beliebiger Form
- Typische Simulationszeit: 3 Stunden (exkl. ca. 2 Tage für Setup + Auswertung)

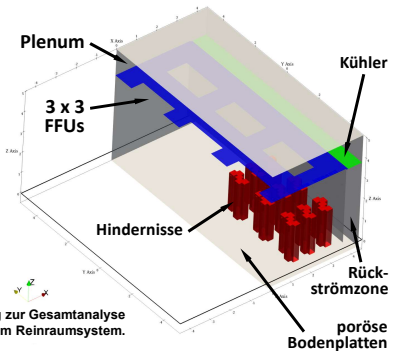


Abbildung 4: Schematische Darstellung zur Gesamtanalyse der Strömung in einem Reinnraumsystem.

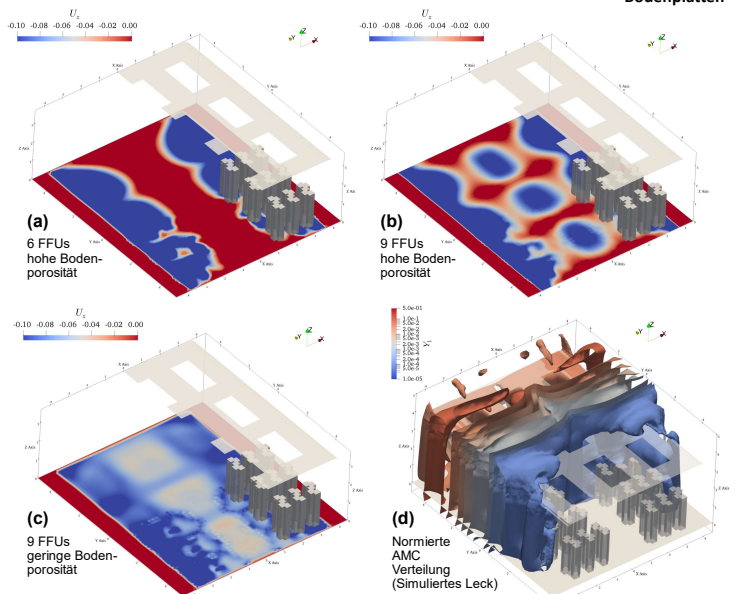


Abbildung 5: Simulationsergebnisse für unterschiedliche Szenarien (a-c: Vertikal-Geschwindigkeitsverteilung über die Bodenplatten, d: normierte AMC Verteilung in Folge eines Lecks im hinteren Bereiches des Reinnraumes).

Prinzip einer Strömungssimulation

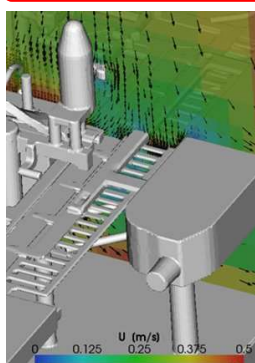


Abbildung 3: Umströmung eines Details einer Steril-Abfüllanlage in einem Isolator.

Das Ziel einer numerischen Strömungsanalyse („Strömungssimulation“) ist die Berechnung der Druck- und Geschwindigkeitsverteilung der Luft in einer komplexen Geometrie.

Der zeitaufwändigste Schritt dabei ist die Generierung der Geometrie, sowie die sogenannte „Netzgenerierung“: dabei wird das gesamte Luftvolumen in kleine Zellen („Würfel“) zerhackt. Dies passiert häufig manuell oder halbautomatisch, da die Netzqualität einen großen Einfluss auf das Ergebnis hat.

Abschließend werden Annahmen getroffen (z.B. Eintrittsgeschwindigkeiten, Drücke an den Auslässen), ein Satz an Differentialgleichungen mit Computern gelöst (die eigentliche Simulation, z.B. mittels der Software OpenFOAM®), und die Daten ausgewertet bzw. visualisiert.

Zusammenfassung & Ausblick

Das größte Potential, welches unmittelbar umgesetzt werden könnte, ist die Integration von Strömungssimulationen in die Planung von Reinnraumsystemen. Damit können bereits früh im Planungsstadium (i) sub-optimale Luftverteilung, oder (ii) ineffektive Abschirmung von AMC bzw. Restmengen von Dekontaminationsmitteln [4] vermieden werden.

In weiterer Folge könnte auch der Entwicklungszyklus von Komponenten und gesamten Reinnraumsystemen verstärkt virtuell erfolgen. Die Weiterentwicklung von Vorhersagemethoden (schnellere Berechnung, Sicherstellung der Zuverlässigkeit) sind Gegenstand zukünftiger Forschungsaktivitäten.

Literaturhinweise

- [1] Gail, L., et al., Reinnraumtechnik, 3. Auflage, 2012, Springer, Heidelberg.
- [2] Liebming, S., et al., Innovative Concepts for Personnel Locks in Clean Room Technology, 8th Central European Symposium on Pharmaceutical Technology, September 16 – 18, 2010, Graz.
- [3] Radl, S., et al., The engineering of hydrogen peroxide decontamination systems, Journal of Pharmaceutical Innovation, 4 (2009), 51 - 62.
- [4] Radl, S., et al., Quantifying Absorption Effects during Hydrogen Peroxide Decontamination, Journal of Pharmaceutical Innovation, 6 (2011), 202–216.

Acknowledgement & Disclaimer
OpenFOAM® is a trademark of OpenCFD Limited.

