

## Raumluftsimulation zur Abschätzung der tatsächlichen Aerosolbelastung im Hörsaal M 2.02 der Universität Stuttgart während des Vorlesungsbetriebs

Im Rahmen der Vorbereitung zur Präsenzlehre für das Wintersemester 20/21 hat sich das Institut für Mechanische Verfahrenstechnik IMVT der Universität Stuttgart mit der Aerosolbelastung in einem für die Lehre des IMVT vorgesehenen Hörsaal (Hörsaalprovisorium M.2.02 in der Breitscheidstraße 2a) befasst. Dies insbesondere aufgrund der Tatsache, dass sich das Institut bereits seit langem mit Luftfiltration und auch mit dispersen Stoffsystemen wie z.B. Ölnebeln, Farblack-Sprays oder Feinstäuben wie sie in der Umgebungsluft oder in Industrieprozessen auftreten auseinandersetzt.

Die Motivation bestand darin zu ermitteln, ob der Hörsaal der mit einem Belüftungssystem versehen ist und der für 32 Coronaplätze freigegeben war, tatsächlich auch in der Lage ist die Raumluft, welche durch die Teilnehmer mit Aerosolen belastet wird, effektiv abzuführen und durch Frischluft zu ersetzen, um so einem erhöhten Ansteckungsrisiko der Teilnehmenden Personen durch mögliche Virenbelastung der Aerosole entgegenzuwirken.



*Bild 1: Hörsaalprovisorium der Universität Stuttgart und Hörsaal M 2.02 (mit Belüftungssystem)*

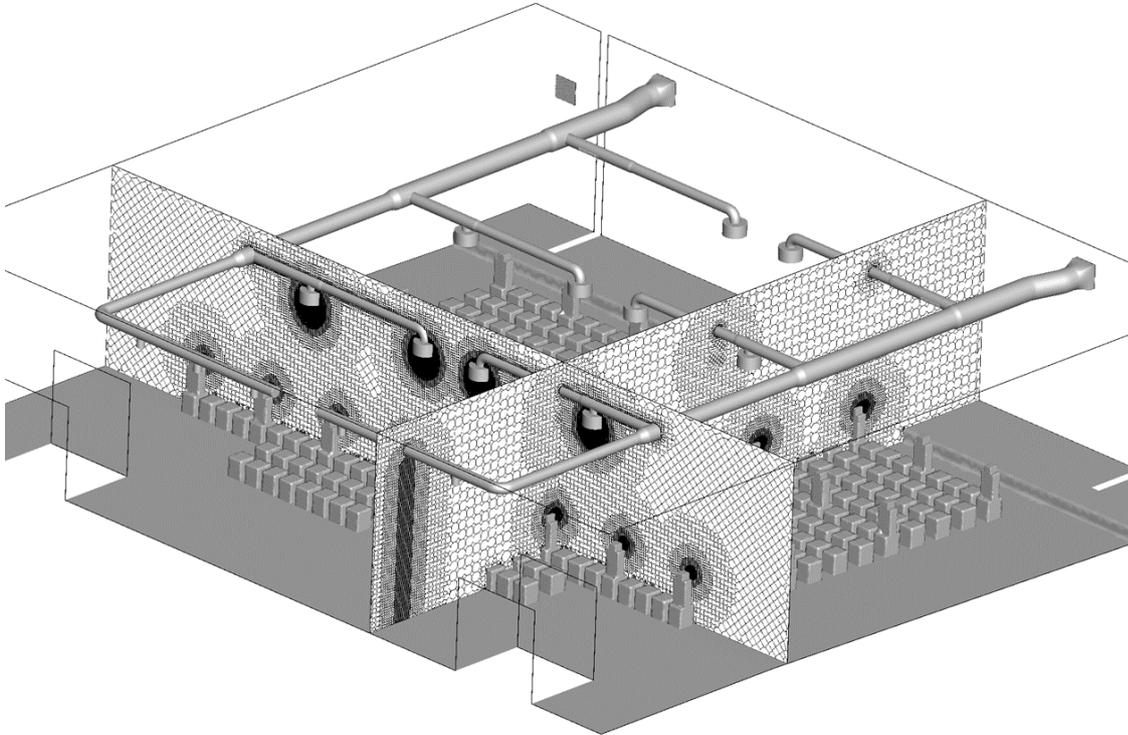
Aus strömungsmechanischer Sicht war bereits vorab klar, dass eine reine Limitierung der Sitzplätze um auferlegte Mindestabstände zu gewährleisten nicht ausreichend sein kann, und dass auch die Vorgabe einer Luftaustauschrate, die für den Raum mit der installierten Raumbelüftung erreicht wird (im vorliegenden Fall 3,2), nicht ausreichend ist.

**Vielmehr müssen von einem wissenschaftlichen Standpunkt aus, die Details der durch die Belüftungsanlage und die Raumgeometrie (inkl. Teilnehmer) induzierten Strömungen ermittelt werden, in der sich die beim Ausatmen freigesetzten Aerosole bewegen.** Beispielsweise ist es durchaus möglich, dass bei ungünstigen Strömungsverhältnissen im Raum, die zugeführte Frischluft in einer Art Kurzschlussströmung den Raum auf kurzem Wege wieder verlässt, so dass trotz hoher Luftaustauschrate, der Großteil der Luft im Hörsaal über lange Zeit auch dort verbleibt und sich mehr und mehr mit ausgeatmeten Aerosolen anreichert.

Da für diesen praktischen Anwendungsfall eine experimentelle Visualisierung des Strömungsverlaufes durch beispielsweise Schlierenaufnahmen oder eine Visualisierung mittels Laserlichtverfahren nur schwer möglich ist, wurde ein virtuelles Rechenmodell zur Abbildung der Strömung im Hörsaal erstellt.

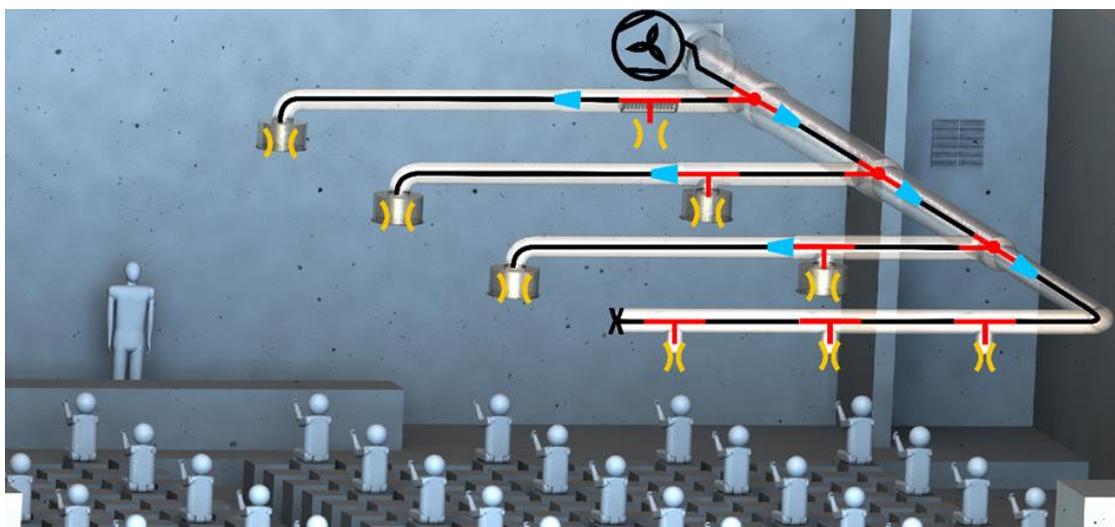
Das detaillierte numerische Simulationsmodell für den Hörsaal wurde von einem dreier Team (einem Wissenschaftlichen Mitarbeiters des IMVT (Herrn Arnav Ajmani), einem Masteranden (Herr Lars Kirchhof) und einem Hilfwissenschaftler (Herr Alireza Rouhijelekaran)) unter Zuhilfenahme eines

kommerziellen Softwareprogramms erstellt. Ein Ausschnitt des hierzu erzeugten Rechengitters ist in Bild 2 zu sehen.



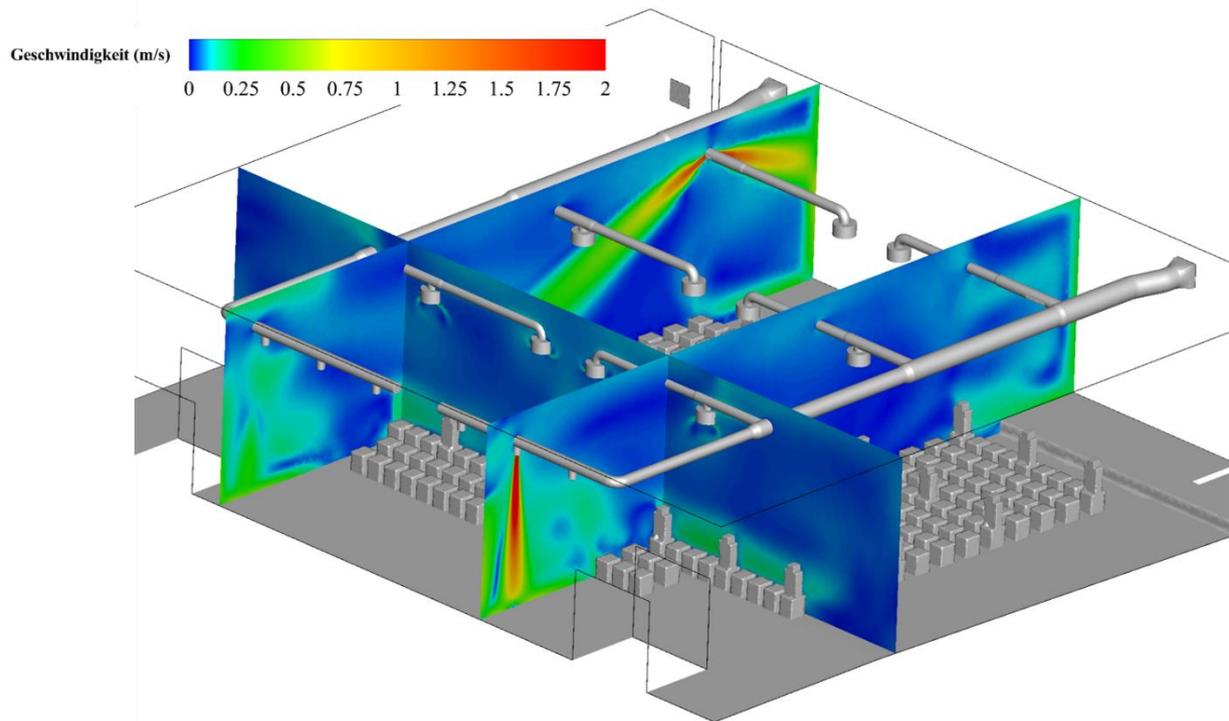
*Bild 2: Rechengitter für die Strömungssimulation (ca. 34 Millionen polyedrische Gitterzellen).*

Die Gesamtzahl der polyedrischen Gitterzellen belief sich auf etwa 34 Millionen. Die Luftzu- und -abführung im Hörsaal, welche die aerodynamischen Verhältnisse im Hörsaal maßgeblich bestimmen (sog. Strömungsrandbedingungen), wurde durch ein Netzwerkrechenmodell des Belüftungssystems ermittelt (siehe Bild 3).

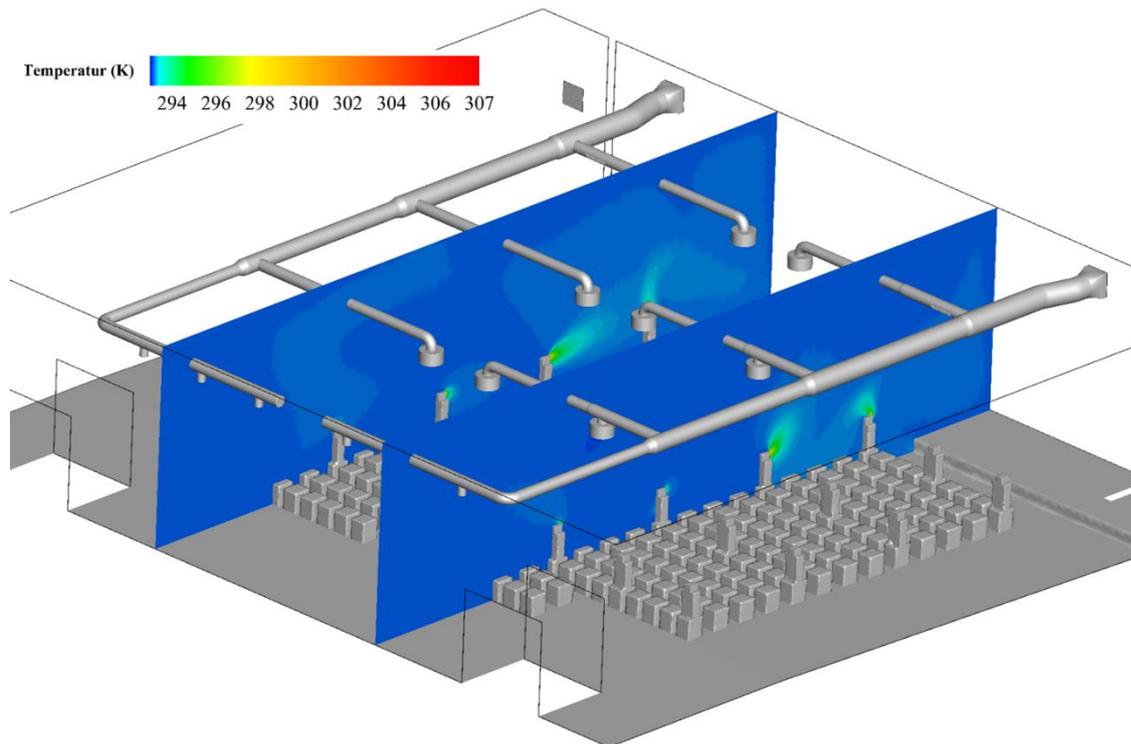


*Bild 3: Hörsaalbelüftungssystem; Netzwerk aus der 3 Weitwurfdüsen im vorderen Zuluftstrang, sowie 5 Dralldüsen und 2 Luftgitter in den drei hinteren Zuluftsträngen. Der Entlüftungsschacht ist im Bild hinten rechts zu sehen. Nur eine Hälfte des Belüftungssystems ist gezeigt*

Nach Lösung der Strömungsmechanischen Gleichungen und der Energiegleichung (welche aufgrund der auf die warme ausgeatmete Luft wirkenden Auftriebskräfte miteinzubinden war), ergab sich das in Bild 4 und 5 dargestellte Strömungsbild.



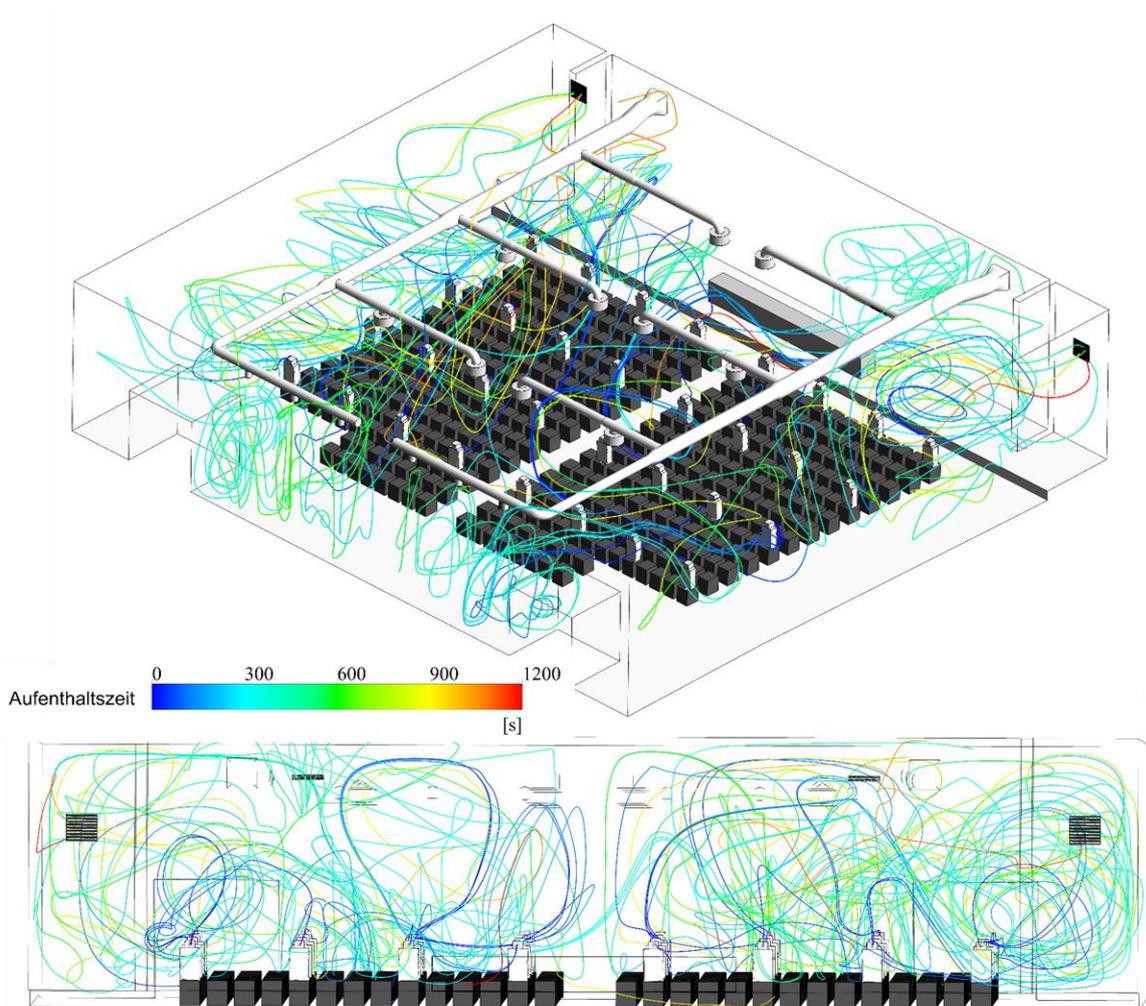
*Bild 4: Induzierte Luftströmung im Hörsaal infolge des installierten Be- und Entlüftungssystems.*



*Bild 5: Temperaturverteilung im Hörsaal aufgrund der erhöhten Temperatur der von den Teilnehmern ausgeatmeten Luft, welche nach oben steigt und die Aerosole zunächst nach oben tragen kann.*

Die Verteilung der mit der ausgeatmeten Luft mitgetragenen Aerosole ist in Bild 6 (unten) dargestellt und zwar indem eine begrenzte Auswahl von Bahnen einzelner Aerosolpartikel (insgesamt 50) visualisiert wurden. Die Partikelbahnen wurde dabei entsprechend ihrer Aufenthaltszeit im Raum nach Freisetzung durch die Teilnehmer eingefärbt. Die Rechnungen erfolgten auf einem institutseigenen Rechencluster mit 64 Prozessoren. Die Strömungsfeldberechnung und Trajektorienberechnung der Aerosole wurden aufgrund der begrenzten Aerosolkonzentration entkoppelt durchgeführt. Die gesamte Rechenzeit belief sich dabei auf 26 Stunden.

Wie an den Trajektorien der Aerosolpartikel zu sehen ist, führt die derzeitige Belüftung des Hörsaals zu einer breitgestreuten Verteilung der Aerosole im Raum. Mit anderen Worten, die aerodynamischen Verhältnisse im Raum führen nur begrenzt zu einer direkten Abführung der Aerosole über die Luftabzüge. Tatsächlich zeigen die Simulationen (ersichtlich an der Einfärbung der Aerosoltrajektorien gemäß der Aufenthaltszeit nach Ausatmung durch die Teilnehmer), dass nach 10 Minuten lediglich etwa 10% der über einen Anfangszeitraum von 5 Sekunden freigesetzten Aerosolpartikel den Raum über die Luftabzüge verlassen hat, während im gleichen Zeitraum das zu- bzw. abgeführte Luftvolumen, der Hälfte des gesamten Hörsaalvolumens entspricht.



*Bild 6: Beispiel für 50 Trajektorien der von den Teilnehmern innerhalb von 20 Minuten ausgeatmeten Aerosoltröpfchen (angenommener Tröpfchendurchmesser = 0,5 Mikrometer).*

Basierend auf den Erkenntnissen der durchgeführten Simulation des belüfteten Hörsaals, sollte u.a. bei Verwendung von CO<sub>2</sub> Ampeln bzw. CO<sub>2</sub> Messgeräten darauf geachtet werden, dass bei unbekanntem Strömungsverhältnissen im Raum (beispielsweise gegeben durch eine Raumlüftungsanlage oder das periodische Öffnen von Fenstern), mehrere Messgeräte verteilt im Raum platziert werden. Oder alternativ, dass geprüft werden sollte, wo die höchsten CO<sub>2</sub> Konzentrationen während der Raumbelugung auftreten, um dann dort das Messgerät zu platzieren (gemäß einem „worst case szenario“ sozusagen). Entsprechende Hinweise werden zum Teil von Herstellern gegeben, aber nicht unbedingt von den Nutzern berücksichtigt.