

Vortrag_Hygienetagung_2011_01_17.ppt




Bestimmung der Ausbreitung luftgetragener Keime mittels Strömungssimulation

Stefan Barp



Schweizer Hygienetagung, 27./28. Januar 2011

Firmenportrait




```
graph TD; A[Dr. Alois Schälín  
Geschäftsleiter] --- B[Brandschutz  
Frank Ritter  
Bereichsleiter]; A --- C[Bauklimatik  
Dr. Stefan Barp  
Bereichsleiter]; A --- D[Contaminant Control  
Dr. Daniel Gubler  
Bereichsleiter]; A --- E[Engineering  
Dr. Philipp Lengweiler  
Bereichsleiter]; B --- F[Expertenteam mit 20 Mitarbeitern]; C --- F; D --- F; E --- F;
```

Keyfigures von AFC


- 1995 als Spin-Off der ETH gegründet
- Seit 2000 als AG unter AFC Air Flow Consulting AG tätig
- 2010 Expertenteam mit mehr als 20 Mitarbeitern
- Mitglied der Technet Alliance
- Mitarbeit in nationalen und internationalen F&E-Projekten
- Technische Infrastruktur auf höchstem Niveau

08.02.2011 Schweizer Hygienetagung 2011 2


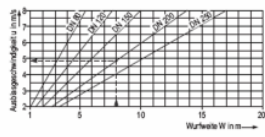
Inhalt





- Ausbreitung von Verunreinigungen wie Keimen, CO₂, Rauch etc. im Raum ist durch Raumluftrömung bestimmt.
- Transportmechanismen sind unabhängig, ob die Verunreinigungen in Zuluftanlage oder im Raum freigesetzt werden.
- Vortrag diskutiert:
 - Grundlegende Antriebsmechanismen von Raumluftrömungen
 - Transportmechanismen von Verunreinigungen
- Erläuterung an einfachen überschaubaren Beispielen
- Effekte in grossen Räumen mit sehr komplexen Strömungen sind dieselben.
- Insbesondere wichtig sind thermisch induzierte Phänomene.

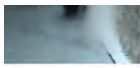

08.02.2011
Schweizer Hygienetagung 2011
3

Antriebsmechanismen



- Raumluftrömungen durch verschiedene Phänomene beeinflusst:
 - Zuluftstrahlen



 - Kaltluftabfall an kühlen Flächen

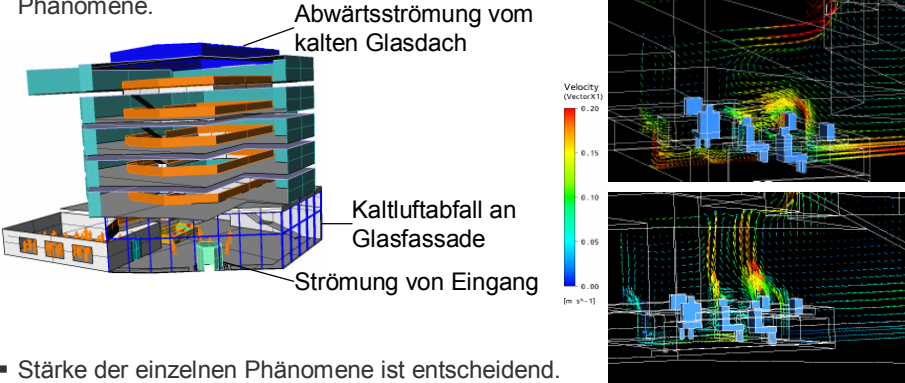
$$w_{\max} = 0.1 \cdot \sqrt{h \cdot \Delta T}$$


 - Thermische Auftriebsströmungen an Geräten und Personen
 - etc.
- Separat betrachtet können Phänomene mittels analytischen mathematischen Modellen oder gemessenen Herstellerdaten beschrieben werden.

08.02.2011
Schweizer Hygienetagung 2011
4




Interaktion von Strömungsphänomenen

- Strömung im realen Raum resultiert aus Interaktion der verschiedenen Phänomene.
 - Abwärtsströmung vom kalten Glasdach
 - Kaltluftabfall an Glasfassade
 - Strömung von Eingang



- Stärke der einzelnen Phänomene ist entscheidend.
- Praxis zeigt, dass Mensch aufgrund Unsichtbarkeit der Strömungen keine korrekte Intuition für Einfluss der einzelnen Phänomene entwickelt.
- Im allgemeinen Fall nicht möglich, mit analytischen Modellen die Raumluftströmung vorherzusagen.

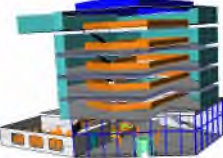
08.02.2011 Schweizer Hygienetagung 2011 5



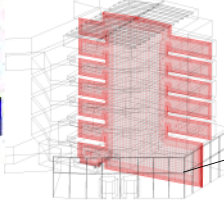
CFD als Hilfsmittel

- Daher ist Vorhersage der Ausbreitung von Verunreinigungen auch bei guter Kenntnis der einzelnen Phänomene schwierig!
- Bei numerischen Strömungssimulationen (CFD) wird der elliptische Charakter (alle Phänomene beeinflussen sich gegenseitig) des Problems automatisch berücksichtigt.

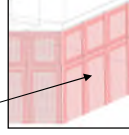
A) Erstellung 3D Geometrie



B) Einteilung in kleine Rechenzellen



C) Definition Randbedingungen, z.B. U und T_{ausseren}




D) Lösen Gleichungen auf möglichst starkem Computer (3 Std. bis 50 Std.)

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_j} = 0$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + \frac{\partial(U_i U_j)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\nu \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \right] - w_i w_j (T - T_0)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial(T U_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial T}{\partial x_j} - w_j T \right)$$

- Mittels geeigneten Darstellungen werden die wesentlichen Strömungseffekte, wie auch die Verteilungen von Verunreinigungen sichtbar gemacht.



08.02.2011 Schweizer Hygienetagung 2011 6

CFD als Hilfsmittel



- Dadurch ist es möglich:
 - Strömungen unter Berücksichtigung aller relevanten Phänomene zu analysieren.
 - mit wirtschaftlichen Massnahmen zu optimieren.
- Auch für sehr geübte Strömungsexperten gibt es immer wieder Effekte, welche nicht zu erwarten sind.
- Vorallem der Einfluss der thermischen Auftriebsströmungen, wie z.B. an Personen, wird in der Praxis häufig unterschätzt.

08.02.2011

Schweizer Hygienetagung 2011

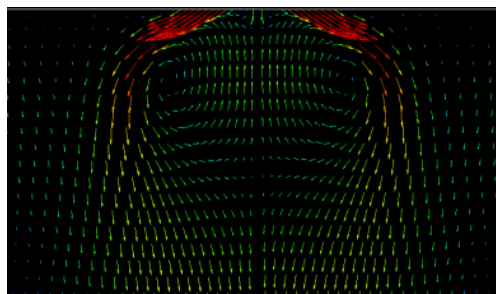
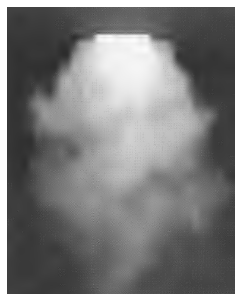
7

Typische Grössenordnungen von Volumenströmen in Räumen



Mechanische Lüftung


- Zuluftvolumenstrom pro Person bei hygienischem Luftwechsel typischerweise in der Grössenordnung von 30m³/h



08.02.2011

Schweizer Hygienetagung 2011


8

Typische Grössenordnungen von Volumenströmen in Räumen 

Thermischer Antrieb


- Thermisch induzierter Auftriebsvolumenstrom über sitzender Person ca. $70\text{m}^3/\text{h}$
- Thermisch induzierte Strömung durch Türe (1m x 2m) zwischen zwei Räumen mit 0.5K Temperaturdifferenz
 - Volumenstrom in jede Richtung ca. $270\text{m}^3/\text{h}$
 - Volumenstrom ist Faktor 10 grösser als Zuluftvolumenstrom.
 - Thermisch induzierte Volumenströme
 - Vielfaches der Zuluftvolumenströme
 - Entscheidend für den horizontalen Transport von Verunreinigungen in Räumen
 - Temperaturdifferenz von mind. 0.5K in realen Räumen immer vorhanden.
 - Z.B. Person mit 70W erwärmt Zuluftvolumenstrom von $30\text{m}^3/\text{h}/\text{Person}$ um 7K.

08.02.2011 Schweizer Hygienetagung 2011 9

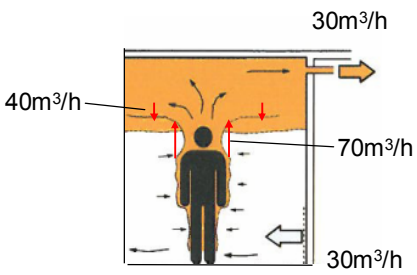
Beispiel vertikaler Transport von Verunreinigungen bei Quelllüftung 

- Klassische Beschreibung:
 - Kühlere Zuluft mit niedrigen Lufteintrittsgeschwindigkeiten tritt unten in Raum.
 - Kühle Zuluft strömt entlang dem Boden.
 - Kühle Zuluft steigt durch natürlichen Auftrieb entlang von Wärmequellen auf und erwärmt sich.
 - Verunreinigungen steigen mit auf.
 - Verunreinigungen werden im Deckenbereich abgeführt.
 - Im unteren Raumteil bildet sich ein „Frischlufsee“ und im oberen Raumteil entsteht eine Mischzone.


08.02.2011 Schweizer Hygienetagung 2011 10

Beispiel vertikaler Transport von Verunreinigungen bei Quelllüftung 

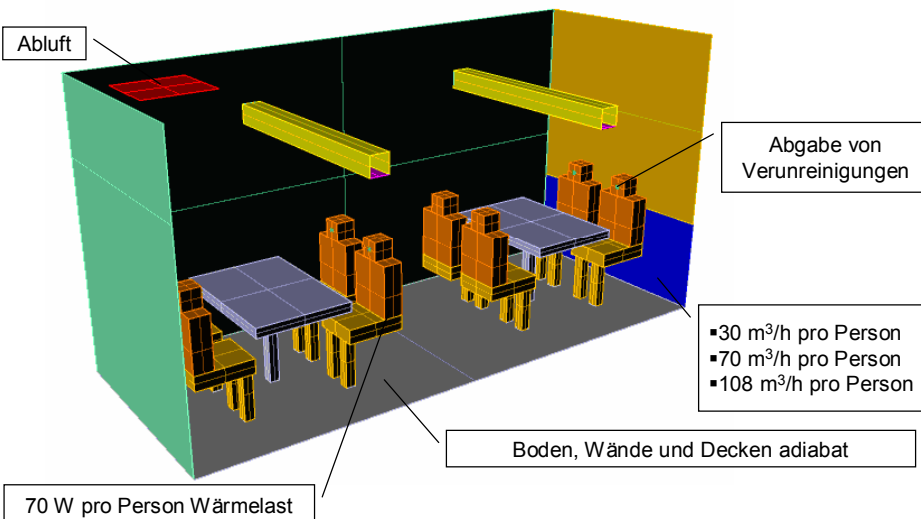
- Wichtige Ergänzung:
 - Bei $30\text{m}^3/\text{h}$ Zuluft pro Person beträgt der Auftriebsvolumenstrom Vielfaches des Zu- resp. Abluftvolumenstromes.
 - Differenz zwischen:
 - Auftriebsvolumenstrom von z.B. $70\text{m}^3/\text{h}$
 - Abluftvolumenstrom von z.B. $30\text{m}^3/\text{h}$
 - beträgt $40\text{m}^3/\text{h}$ und muss wieder nach unten strömen.
 - Rezirkulierte Luft transportiert Verunreinigungen wieder nach unten.



08.02.2011 Schweizer Hygienetagung 2011 11

Beispiel für vertikalen Transport 

- CFD Simulation zur Illustration



Abluft

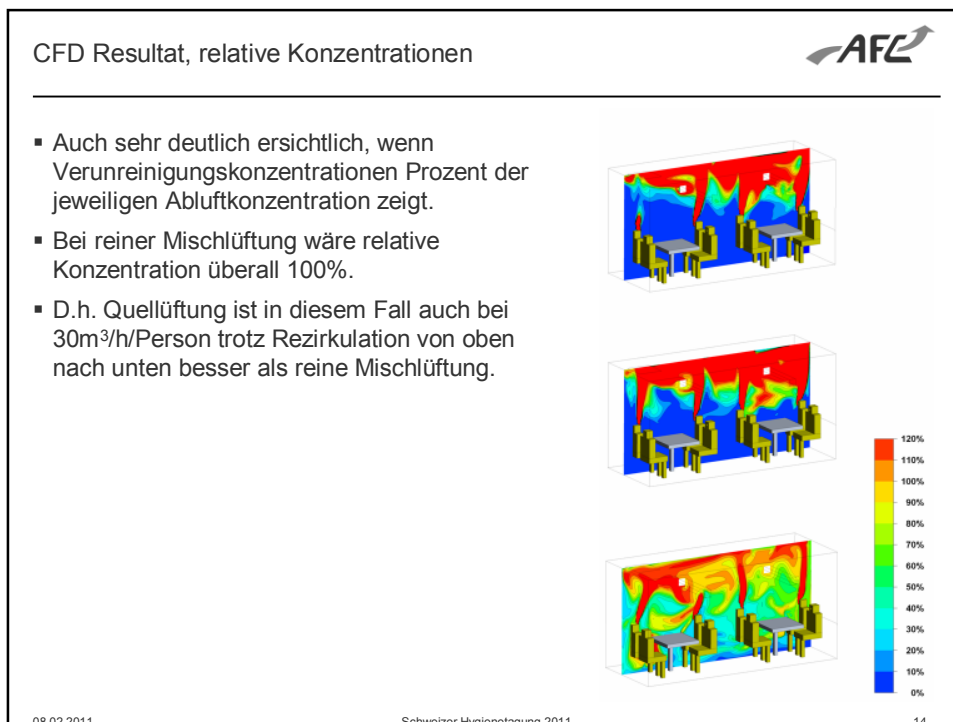
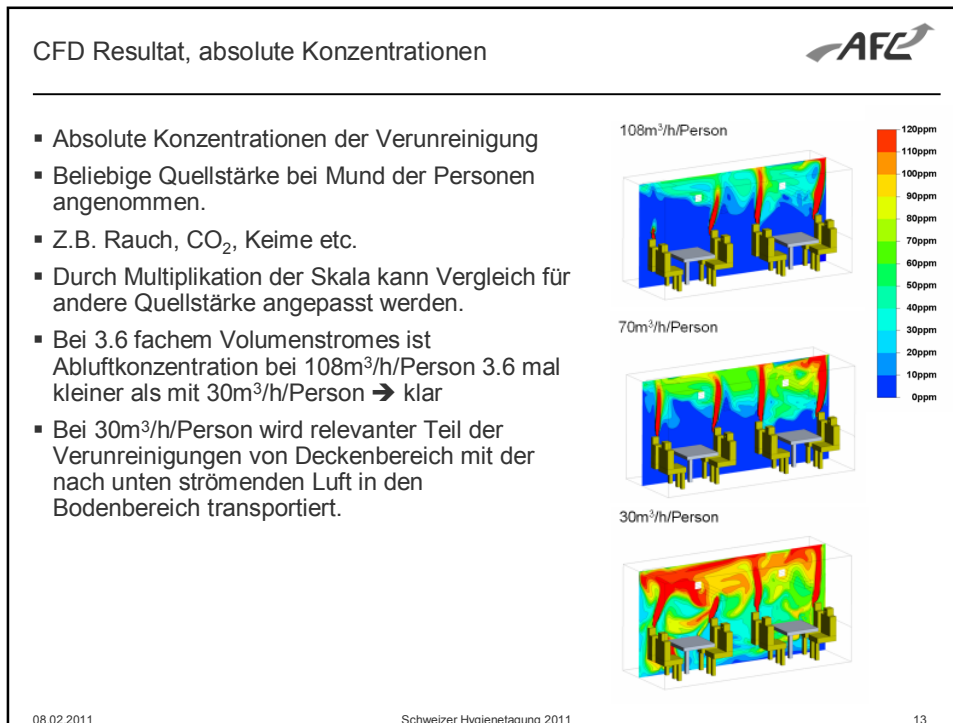
Abgabe von Verunreinigungen

- $30\text{ m}^3/\text{h}$ pro Person
- $70\text{ m}^3/\text{h}$ pro Person
- $108\text{ m}^3/\text{h}$ pro Person

Boden, Wände und Decken adiabatisch

70 W pro Person Wärmelast

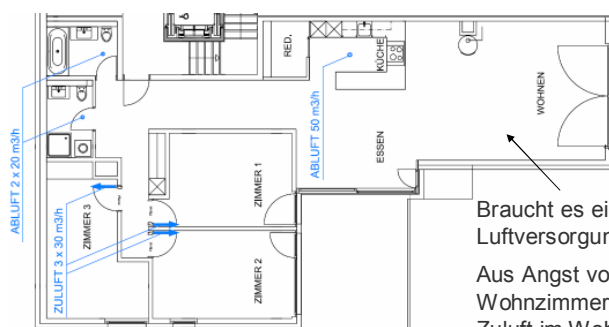
08.02.2011 Schweizer Hygienetagung 2011 12



Beispiel horizontaler Transport von Verunreinigungen durch örtliche Temperaturunterschiede



- Durch örtliche Temperaturunterschiede verursachter horizontaler Volumenstrom zwischen Räumen kann mehr als Faktor 10 grösser sein als der Zuluftvolumenstrom
- Der horizontale Volumenstrom ist massgebend für Verteilung von Verunreinigungen und Zuluft z.B. in Wohnungen.



08.02.2011

Schweizer Hygienetagung 2011

15

Analysemethoden

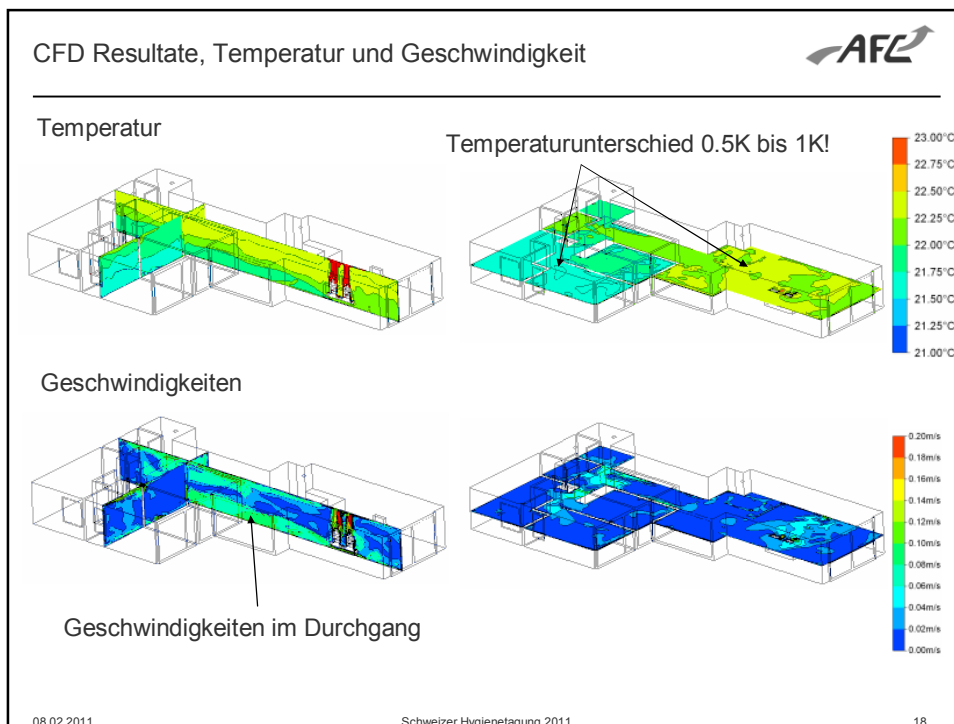
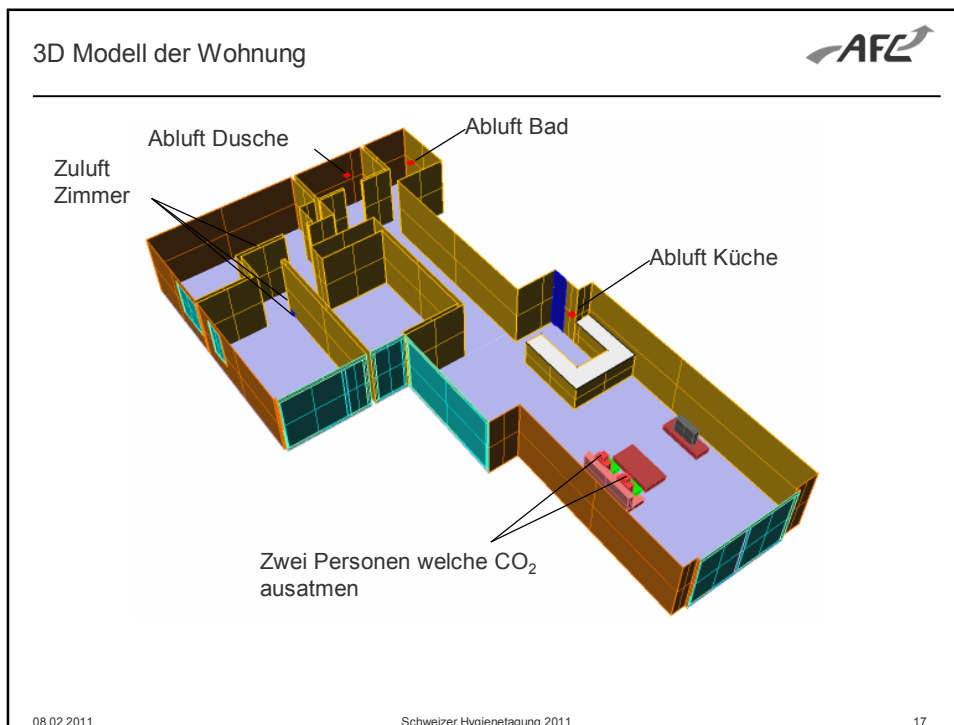


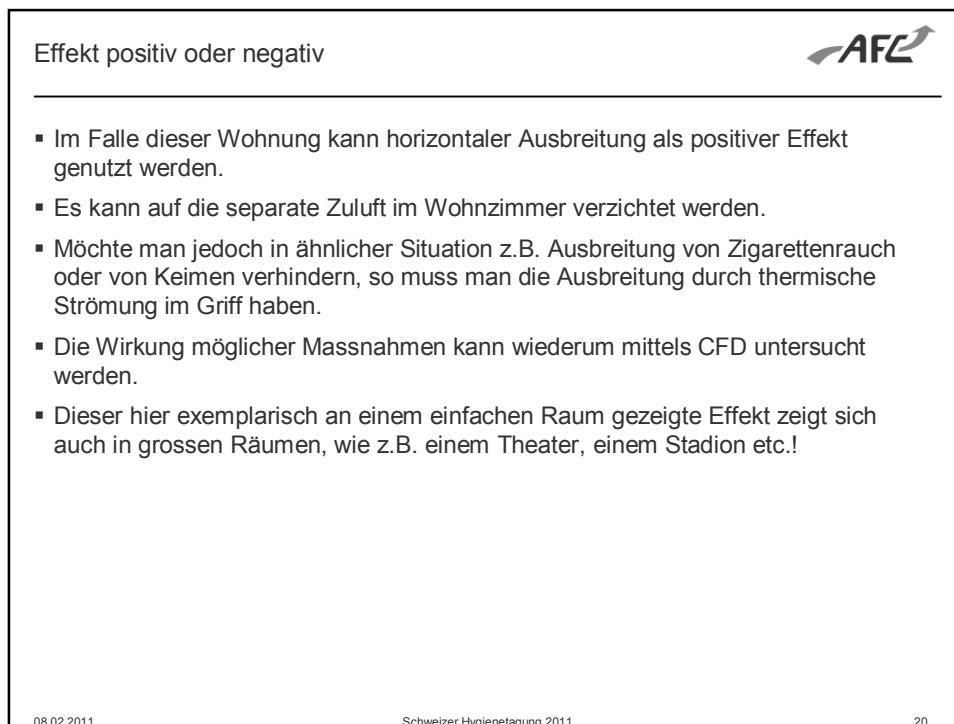
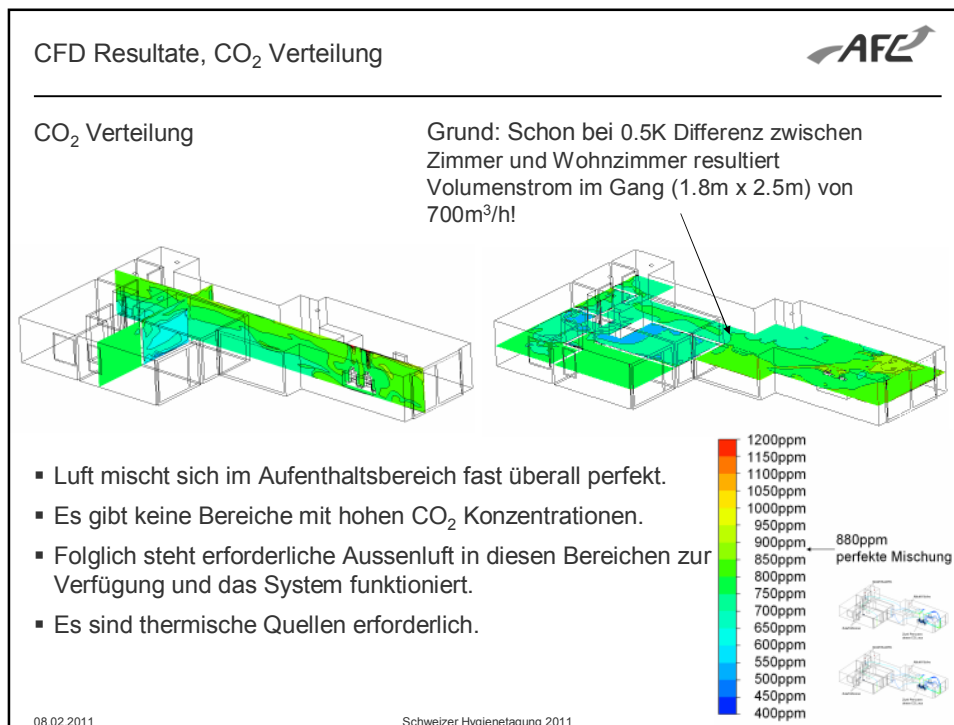
- Um Durchlüftung des Wohn-Esszimmers in dieser schlimmstmöglichen Situation zu beurteilen, wurde in Projekt von AWEL und Amt für Hochbauten (Stadt ZH) drei Analysemethoden verwendet:
 1. Numerische Strömungssimulation (CFD)
 2. Messung des Anstiegs der CO₂ Konzentration an verschiedenen Stellen in Wohnung
 3. Nebelversuch
- Hier nur Erläuterung des horizontalen Transportes

08.02.2011

Schweizer Hygienetagung 2011

16





Zusammenfassung



- Thermisch Antriebsphänomene bestimmen häufig die Raumluftrömungen und die Verteilung von Verunreinigungen.
- Im allgemeinen Fall ist es nicht möglich, mit analytischen Modellen die Raumluftrömung vorher zu sagen.
- Numerische Strömungssimulationen zeigen die relevanten Mechanismen.
- Es können gezielt wirtschaftliche Massnahmen entwickelt und Fehlplanungen verhindert werden.
- Die Transportmechanismen sind gleich für kleine einfache und grosse komplexe Räume ein Theater, Stadion etc.