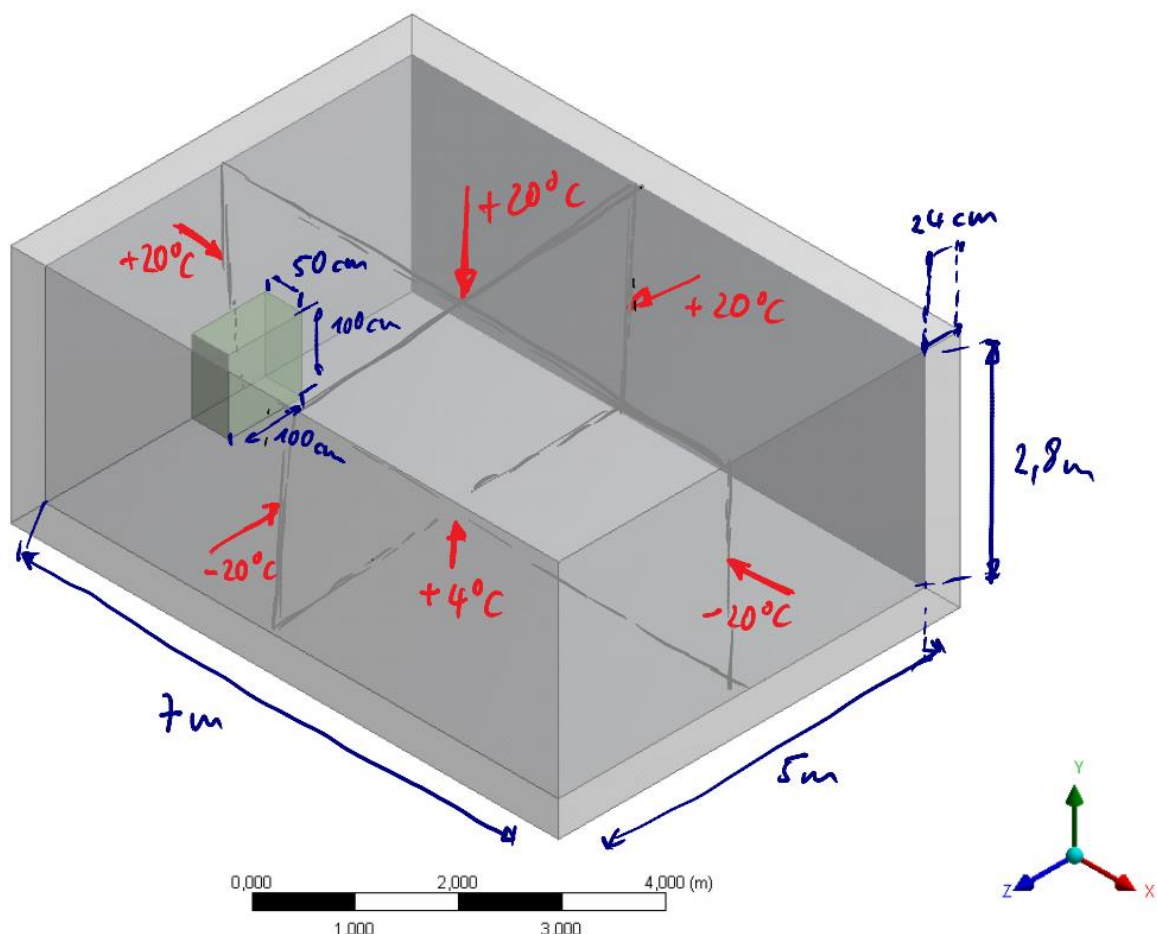


# Bonus: Strömungsmechanik gekoppelt mit Wärmetransport

Wärmetransport findet mittels Konvektion, Wärmeleitung und Strahlung statt. Durch eine gekoppelte Simulation von (Luft-)Strömung und Wärmetransport läßt sich die Temperaturverteilung vorhersagen, die sich aufgrund von Dichteunterschieden und der dadurch hervorgerufenen Freien Konvektion einstellt.

## Gegeben

Es ist Winter; eisige Temperaturen von bis zu  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  motivieren zum Betrieb eines Schwedenofens, um das Wohnzimmer auf angenehme Temperaturen zu heizen. Simuliere die Heizwirkung eines Ofens (grün) für folgenden Raum:



Der Raum besitzt zwei Außenwände, drei Innenwände, einen Fußboden und keine Fenster. Das Ziegelmauerwerk ist nicht isoliert (oder verputzt). Der Wärmetransport soll zunächst nur mittels Konvektion und Wärmeleitung stattfinden. Der Ofen soll aus (schwarzem) Gußeisen bestehen und eine Heizleistung von 8 kW aufweisen.

## Gesucht

... ist die Temperaturverteilung, die sich einstellende Luftströmung und die Druckverteilung im Raum.

## Arbeitsschritte

1. Lege ein neues *Fluid Flow (CFX)* Projekt an und
2. Erstelle die Geometrie im *Design Modeler*.
3. Vernetze die Geometrie; denke auch an einen *Inflation Layer* für die Grenzschicht.
4. Lege in *CFX Pre* zunächst Materialien für die Wände und den Ofen an (im Modellbaum Rechtsklick auf *Materials* → *Insert* → *Material*). Definiere die Eigenschaften *Thermodynamic State*, *Density*, *Specific Heat Capacity* und *Thermal Conductivity*.<sup>1</sup>
5. Definiere eine Fluid-Domain „Luft“, ...
  - 5.1. ... die den mit Luft gefüllten Raum umfasst und ...
  - 5.2. ... der Du das Material *Air Ideal Gas* zuweist.
  - 5.3. Aktiviere außerdem die Option *Buoyant*, um freie Konvektion zu ermöglichen. Definiere die Schwerkraft und verwende den Wert  $1,1093 \text{ kg/m}^3$  als *Buoyancy Reference Density*.
  - 5.4. Wähle als *Heat-Transfer-Model* *Thermal Energy (Fluid-Models-Tab)*.
  - 5.5. Aktiviere das *k-ε-Turbulenzmodell* und *Turbulent Flux Closure for Heat Transfer* (Option: *Eddy Diffusivity*; *Turbulent Prandtl Number*: 0.9).
6. Definiere analog zwei Solid-Domains für die Wände und den Ofen.
7. CFX-Pre sollte bereits automatisch drei Interfaces angelegt haben: Zwischen der Luft und den Wänden, der Luft und dem Ofen und den Wänden und dem Ofen. Ansonsten: Rechtsklick auf *Interfaces* → *Insert* → *Domain Interface*
8. Füge passende Randbedingungen für die Wände/Boden/Decke ein: Rechtsklick auf Deine „Wand“-Domain → *Insert* → *Boundary*. Wähle unter *Boundary Details* → *Heat Transfer* zur Aufgabenstellung passende Einstellungen!
9. Jetzt fehlt noch die Wärmequelle: Rechtsklick auf Deine „Ofen-Domain“ → *Insert* → *Source*. Die Quelle sollte sich in etwa im Zentrum der Ofen-Geometrie befinden.
10. Erhöhe die maximal erlaubte Anzahl an Lösungsiterationen: *Solver* → *Solver Control* → *Convergence Control* → *Max. Iterations*: 500

## Aufgaben & Fragen

1. Stelle die Temperaturverteilung und die Luftströmung dar! Hilfreich dabei können sein: Streamlines, Contour-Plots, Volume Renderings und Isosurfaces.
2. Reicht die Heizleistung des Ofens aus?
3. Wo befinden sich bautechnisch möglicherweise problematische Stellen?

---

<sup>1</sup> Materialeigenschaften: [http://www.schweizer-fn.de/stoff/start\\_stoff.php](http://www.schweizer-fn.de/stoff/start_stoff.php)

## Für ganz Schnelle

1. Simuliere nun auch die Wärmestrahlung (CFX Pre: „Luft“-Domain → Fluid Models → Thermal Radiation → Discrete Transfer; Transfer Mode: Surface to Surface). Was ändert sich an der Temperaturverteilung und der Luftströmung?
2. Bringe eine Isolierschicht auf die Außenwände auf!
3. Baue ein Fenster ein! Was bringt eine Mehrfachverglasung?
4. Versuche Dich an einer transienten Analyse: Wie lange dauert das Aufheizen eines ausgekühlten Raumes (Anfangstemperatur z.B. 15 °C).