



Victor Norrefeldt,  
Gunnar Grün, Klaus Sedlbauer

## DAS VEPZO-MODELL – VELOCITY PROPAGATING ZONAL MODEL SCHNELLE ABSCHÄTZUNG VON STRÖMUNGSVERHÄLTNISSEN UND TEMPERATURVERTEILUNGEN IM INNENRAUM

### Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart  
Telefon +49 711 970-00  
info@ibp.fraunhofer.de

Standort Holzkirchen  
Fraunhoferstraße 10, 83626 Valley  
Telefon +49 8024 643-0  
info@hoki.ibp.fraunhofer.de

Standort Kassel  
Gottschalkstraße 28a, 34127 Kassel  
Telefon +49 561 804-1870  
info-ks@ibp.fraunhofer.de

[www.ibp.fraunhofer.de](http://www.ibp.fraunhofer.de)

### Literatur

[1] Boukhris, Y.; Gharbi, L.; Ghrab-Morcos, N.: Modeling coupled heat transfer and air flow in a partitioned building with a zonal model: Application to the winter thermal comfort. *Building Simulation*, 2009, Vol. 2, S. 67–74

[2] Wurtz, E.; Nataf, J.-M.; Winkelmann, F.: Two- and three-dimensional natural and mixed convection simulation using modular zonal models in buildings. *Int. Journal of Heat and Mass Transfer*, 42, 1999, S. 923–940

### ZIELSETZUNG

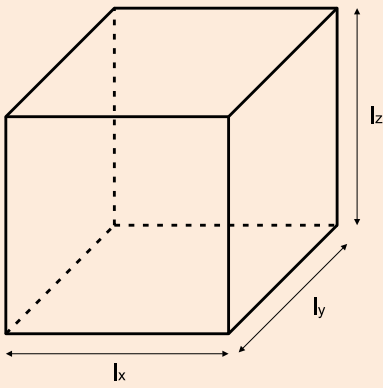
Zonale Modelle ermöglichen schnelle Simulationen der Strömungsverhältnisse und Temperaturverteilungen im Raum. Hierzu wird das Raumvolumen typischerweise in 10 bis 100 Zonen unterteilt [1] (Abb. 1). Zonale Modelle stellen einen Kompromiss zwischen der Genauigkeit von CFD-Simulationen und der niedrigen Rechenzeit von eindimensionalen Modellen dar.

Das VEPZO-Modell (velocity propagating zonal model) ist eine neue Formulierung eines zonalen Modells und wurde am Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP entwickelt. Die Geschwindigkeit der Strömung ist eine Eigenschaft der Zone und wird an benachbarte Zonen weitergegeben. Ein viskoses Verlustmodell erlaubt es, die Physik der Strömung besser zu erfassen. Das Modell wurde in der Sprache Modelica implementiert.

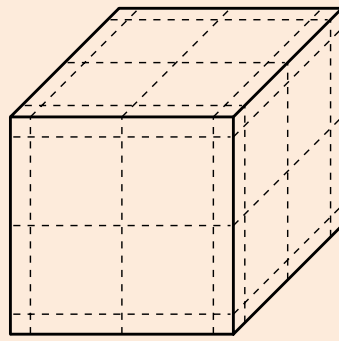
### METHODE

Zonale Modelle bestehen aus zwei Hauptkomponenten: Volumen und Flüssen. Im Volumenmodell ist die Erhaltung skalarer Größen wie Masse, Wärme und Feuchte implementiert. Es enthält Schnittstellen für Luftflüsse und externe Wärme-flüsse, beispielsweise Konvektion an einer Oberfläche oder von einzelnen Punktlasten wie einem Rechner. Auch Schnittstellen zu anderen Flüssen wie Partikel oder Gase können vorgesehen werden.

In einem VEPZO-Modell enthalten die Volumina zusätzlich Informationen über die drei Komponenten eines resultierenden Geschwindigkeitsvektors. Dieser wird durch die zu- und abfließende Luftmenge an jeder der sechs Volumenoberflächen bestimmt. Dieser Geschwindigkeitsvektor sowie der Ort der Zone im Raum und der Zustand der im Volumen enthaltenen Luft werden dem Strömungsmodell übermittelt. Dieses bestimmt die Menge der Luft, die zwischen zwei benachbarten Volumina ausgetauscht wird.



1



2

Hierzu werden die Kräfte aufsummiert, die auf den Strömungsweg wirken und die resultierende Beschleunigung der Strömung ermittelt (Abb. 2). Um die Verluste der Strömung zu modellieren, wird ein viskoser Term eingeführt. Die dem Strömungspfad zugrunde liegende Gleichung wird für die x-Koordinatenrichtung gezeigt, ist aber entsprechend auch für die anderen kartesischen Koordinatenrichtungen gültig.

$$\ddot{u} = -\frac{\Delta p_{1,2} + \Delta(u^2)_{1,2} + g \cdot \Delta z}{\rho \Delta x} + \frac{\mu}{\rho} \left( \Delta \frac{\partial u}{\partial y} + \Delta \frac{\partial u}{\partial z} \right)$$

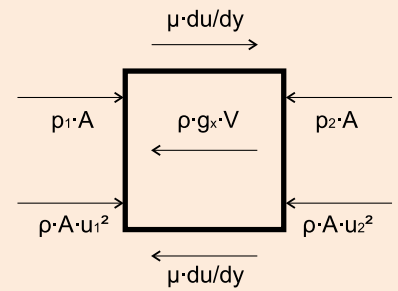
Die Annahme einer angepassten Viskosität ähnlich der Idee der turbulenten Viskosität erlaubt es, Verluste im Strömungspfad besser nachzubilden. Es zeigt sich, dass ein Wert von 0,001 Pa·s im Allgemeinen gute Ergebnisse liefert.

### ERGEBNIS

Die Güte der Vorhersage mit dem VEPZO-Modell wird anhand eines dreidimensionalen Raums überprüft. ( $l_x \times l_y \times l_z = 2,6 \times 3,6 \times 2,55 \text{ m}^3$ ) [2]. Die Randbedingungen sind in Tabelle 1 dargestellt. Zwei  $4 \times 4 \times 4$ -Zonierungen werden untersucht. Im ersten Versuch wird der Raum in allen Richtungen in gleich große Zonen unterteilt. Im zweiten Versuch werden die Randbereiche verfeinert. Die Zonen neben einer Wand sind jeweils 0,1 m dick (ähnlich Abb. 1, rechts).

Tabelle 1 Randbedingungen

Wand	Temperatur (°C)	Wärmeübertragungskoeffizient ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ )
links	25,5	4,1
rechts	32,0	4,1
vorne	24,5	4,1
hinten	24,5	4,1
Boden	24,5	1,0
Decke	26,0	5,7



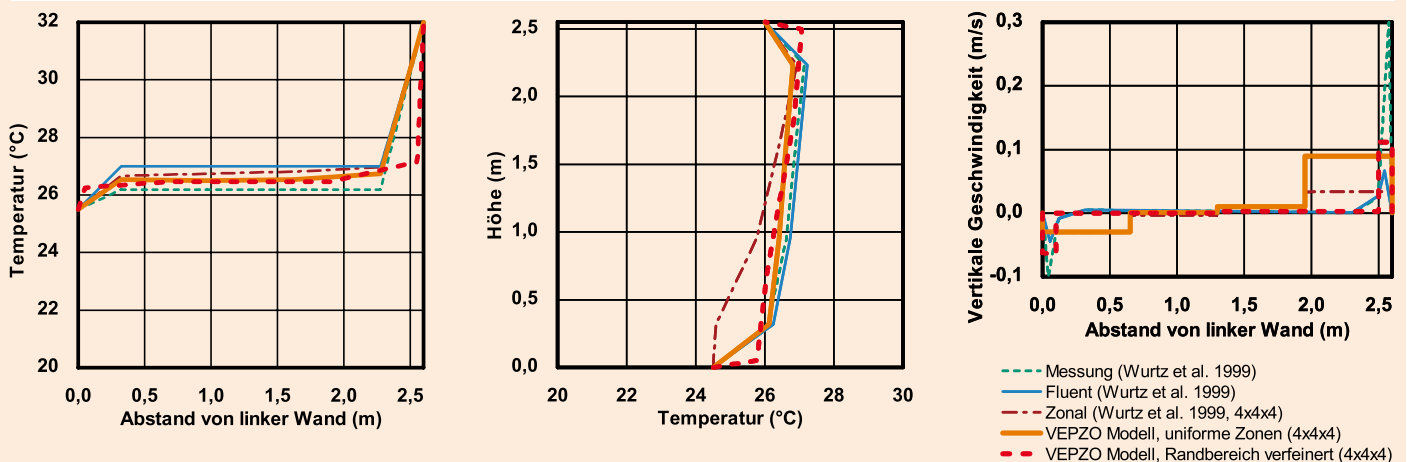
Auf einem normalen PC konvergiert die Simulation nach etwa 4 s. Die Diagramme in Abb. 3 zeigen, dass die mit dem VEPZO-Modell berechneten Temperaturprofile gut mit den Messungen und Simulationen aus [2] übereinstimmen. Die Randbereiche feiner darzustellen verbessert die Genauigkeiten der Geschwindigkeitsvorhersagen deutlich.

### SCHLUSSFOLGERUNGEN

Das VEPZO-Modell erlaubt es, die Strömungs- und Temperaturverhältnisse mit guter Übereinstimmung zu veröffentlichten Messungen und Simulationen darzustellen. Mit dem Modell können schnelle Vorhersagen über den Einfluss lokaler Wärmequellen oder unterschiedlicher Wandtemperierung in geschlossenen Räumen getroffen werden.

Vielversprechende Anwendungen sind beispielsweise die Vorhersage lokaler Wärmeakkumulation in Räumen mit starker Temperaturschichtung oder der Tauwasserbildung an kalten Oberflächen oder Ecken.

Abb. 3: Horizontales Temperaturprofil, vertikales Temperaturprofil und horizontales Profil der vertikalen Geschwindigkeit, ausgewertet in der Mitte des Raums



- links: Beispielhafte Raumgeometrie, rechts: Unterteilung in  $4 \times 4 \times 4$  Zonen
- Auf den Strömungspfad wirkende Kräfte in einem VEPZO-Modell