



Stefan Menzel (Autor)

## Ein Ansatz zur Optimierung des Luftströmungsverhaltens von Glas-Doppelfassaden unter Verwendung bionischer Prinzipien



1

**Schriftenreihe aus dem  
Institut für Massivbau**

Ein Ansatz zur Optimierung  
des Luftströmungsverhaltens  
von Glas-Doppelfassaden  
unter Verwendung  
bionischer Prinzipien

Dipl.-Ing. Stefan Menzel



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/2949>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany  
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Definition einer Glas-Doppelfassade.....	2
1.2	Zielsetzung und Aufbau der Arbeit.....	4
<b>2</b>	<b>Stand der Forschung</b>	<b>7</b>
2.1	Kategorisierung von Glas-Doppelfassaden.....	7
2.2	Auftriebsinduzierte Luftströmungen in Glas-Doppelfassaden.....	9
2.2.1	Kastenfenster-Fassade .....	9
2.2.2	Auftriebsinduzierte Strömungen.....	10
<b>3</b>	<b>Grundlagen der Strömungsmechanik und numerische Umsetzung bei der Computational Fluid Dynamics (CFD)</b>	<b>15</b>
3.1	Allgemeine Bewegungsgleichungen eines Fluids.....	15
3.1.1	Kontinuitätsgleichung .....	16
3.1.2	Impulsgleichung .....	16
3.1.3	Energiegleichung .....	17
3.2	Ähnlichkeitstheorie und dimensionslose Kennzahlen.....	17
3.2.1	Reynolds-Zahl .....	18
3.2.2	Grashof-Zahl .....	19
3.2.3	Prandtl-Zahl .....	19
3.2.4	Eckert-Zahl .....	20
3.2.5	Nusselt-Zahl .....	20
3.3	Computational Fluid Dynamics (CFD) – Die numerische Berechnung von Strömungen.....	20
3.3.1	Allgemeine Grundlagen und Modellannahmen für eine Simulation von Strömungsfeldern.....	22
3.3.2	Merkmale und Modellansätze der in dieser Arbeit verwendeten CFD-Programme NAGARE und FLUENT.....	28

<b>4</b>	<b>Visualisierung und Quantifizierung von Strömungsvektorfeldern anhand optischer Messverfahren</b>	<b>36</b>
4.1	Allgemeine Ansätze und Methodik der Planar Laser Velocimetry (PLV).....	37
4.2	Bestandteile und Ablauf einer optischen Strömungsmessung.....	38
4.2.1	Licht und Beleuchtung.....	39
4.2.2	Bildaufzeichnung .....	39
4.2.3	Tracer Partikel.....	40
4.2.4	Auswertung .....	41
<b>5</b>	<b>Experimentelle Untersuchung einer auftriebsinduzierten Strömung mittels der Particle Tracking Velocimetry (PTV)</b>	<b>44</b>
5.1	Beschreibung des Versuchsaufbaus.....	44
5.1.1	Der zentrale Baustein – das Versuchsmodell.....	45
5.1.2	Laser und Optik.....	50
5.1.3	Glass-Bubbles als Tracer Partikel.....	51
5.1.4	Foto- und Videoaufnahmen als Grundlage für die PTV Auswertung.....	53
5.1.5	Computergestützte Berechnung der Geschwindigkeitsfelder anhand von PLV-Programmen.....	54
5.1.6	Temperaturerzeugung und Temperaturmessung.....	56
5.2	Ablauf der optischen Strömungsmessungen.....	60
5.2.1	Phase I: Zusammenbau der Elemente.....	60
5.2.2	Phase II: Aufheizen des Modells und Vorbereiten der Messungen.....	63
5.2.3	Phase III: Aufzeichnen des Bildmaterials.....	64
5.2.4	Phase IV: Auswertung der Versuchsergebnisse.....	65
5.3	Beschreibung des vorliegenden Strömungsverhaltens und Zusammenstellung der Versuchsergebnisse.....	71
5.3.1	Fassadenabstand $d_f = 5$ cm.....	72
5.3.2	Fassadenabstand $d_f = 10$ cm, 15 cm bzw. 20 cm.....	80
5.3.3	Vergleich der Versuchsergebnisse.....	85
5.3.4	Der Temperaturgradient als antreibender Motor der Auftriebsströmung.....	88
<b>6</b>	<b>Validierung der CFD-Programme NAGARE und FLUENT anhand experimenteller Untersuchungen von Konvektionsströmungen</b>	<b>95</b>
6.1	Numerische Strömungsberechnung der Versuchsreihe.....	95
6.1.1	Grundlegende Ansätze in FLUENT.....	95
6.1.2	Grundlegende Ansätze in NAGARE.....	97

6.1.3	Vergleich der Versuchsergebnisse mit NAGARE und FLUENT.....	98
6.2	Versuche Woods/Gladstone.....	107
6.2.1	Versuchsaufbau und Grundlagen.....	107
6.2.2	Vergleich der Versuchsergebnisse mit FLUENT.....	111
6.2.3	Übertragbarkeit auf die Versuchsreihe aus Kapitel 5.....	113
6.3	Versuche Ziller.....	114
6.3.1	Versuchsaufbau .....	114
6.3.2	Vergleich der Versuchsergebnisse mit FLUENT.....	115
6.3.3	Ergänzende Untersuchungen zur Fassadenspaltbreite.....	117
6.4	Zusammenfassung und Fazit.....	119
<b>7</b>	<b>Evolutionäre Algorithmen – Die Optimierung strömungsmechanischer Systeme mit dem Softwarepaket GeDeNA</b>	<b>121</b>
7.1	Bionik – Die Ausnutzung biologischer Prinzipien in der Technik.....	122
7.1.1	Begriffsdefinitionen .....	124
7.1.2	Schematischer Ablauf einer evolutionären Optimierung.....	127
7.2	Voraussetzungen für die Softwareentwicklung.....	128
7.3	Programmtechnische Umsetzung der Evolutionären Algorithmen im Softwarepaket GeDeNA.....	129
7.3.1	Bestandteile und Funktionalität des Softwarepakets GeDeNA.....	129
7.3.2	Überblick über den Ablauf einer evolutionären Optimierung mit GeDeNA.....	130
7.4	Evolutionäre Algorithmen – Evolutionsstrategie.....	136
7.4.1	Allgemeine Beschreibung der optimierbaren Systeme.....	137
7.4.2	Der Luftwechsel als Qualitätsmerkmal eines Individuums.....	138
7.4.3	Die Auswahl der Eltern als Ausgangspunkt einer neuen Generation.....	141
7.4.4	Lernen aus der Vergangenheit.....	142
7.4.5	Eine neue Generation entsteht.....	145
7.5	Beispiele für eine Optimierung des Luftströmungsverhaltens unter Anwendung Evolutionärer Algorithmen.....	149
7.5.1	Beispiel 1: Vorteile der automatischen Strukturoptimierung und -glättung.....	149
7.5.2	Beispiel 2a: Verbesserung des Luftwechsels durch eine Optimierung im Auslassbereich des Fassadenmodells d10.....	151

---

7.5.3	Beispiel 2b: Verbesserung des Luftwechsels durch eine Optimierung im Auslassbereich des Fassadenmodells d20.....	155
7.5.4	Beispiel 3: Verbesserung des Luftwechsels durch eine Optimierung des gesamten Zwischenraums des Fassadenmodells d10.....	157
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>160</b>
8.1	Zusammenfassung .....	160
8.2	Ausblick .....	161
	<b>Anhang A: Kubische Splineinterpolation</b>	<b>165</b>
	<b>Anhang B: Geschwindigkeitsprofile in der Übersicht</b>	<b>167</b>
	<b>Anhang C: Versuche Woods/Gladstone: Berechnung von <math>\lambda_G</math></b>	<b>179</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>181</b>