

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Definition einer Glas-Doppelfassade.....	2
1.2	Zielsetzung und Aufbau der Arbeit.....	4
2	Stand der Forschung	7
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
3	Grundlagen der Strömungsmechanik und numerische Umsetzung bei der Computational Fluid Dynamics (CFD)	15
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

4	Visualisierung und Quantifizierung von Strömungsvektorfeldern anhand optischer Messverfahren	36
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
5	Experimentelle Untersuchung einer auftriebsinduzierten Strömung mittels der Particle Tracking Velocimetry (PTV)	44
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
6	Validierung der CFD-Programme NAGARE und FLUENT anhand experimenteller Untersuchungen von Konvektionsströmungen	95
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
7	Evolutionäre Algorithmen – Die Optimierung strömungsmechanischer Systeme mit dem Softwarepaket GeDeNA	121
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
8	Zusammenfassung und Ausblick	160
8.1	Zusammenfassung	160
8.2	Ausblick	161
	Anhang A: Kubische Splineinterpolation	165
	Anhang B: Geschwindigkeitsprofile in der Übersicht	167
	Anhang C: Versuche Woods/Gladstone: Berechnung von λ_G	179
	Literaturverzeichnis	181