

INHALTSVERZEICHNIS

Inhaltsverzeichnis	V
Nomenklatur	IX
1. Einleitung	
1.1 Einführung	1
1.2 Zielsetzung	2
2. Transparente Wärmedämmung zur passiven Solarenergienutzung	
2.1 Transparente Wärmedämmmaterialien	5
2.1.1 Strahlungstransmission und Gesamtenergiedurchlaßgrad	6
2.1.2 Wärmetransport in transparenten Wärmedämmmaterialien	7
2.1.2.1 Konvektionsunterdrückung in den Strukturen	7
2.1.2.2 IR-Strahlungsdämpfung	9
2.2 Prinzip der hinterlüfteten transparenten Dämmfassade	11
3. Berechnungsverfahren für Konvektions- und IR-Strahlungstransport	
3.1 Transportgleichungen für Masse, Impuls und Energie	13
3.2 Allgemeines numerisches Verfahren	16
3.2.1 Finite Volumen Verfahren	16
3.2.1.1 Diskretisierung der allgemeinen Differentialgleichung	16
3.2.1.3 Diskretisierung der Impulsgleichungen nach der "Staggered grid" Methode	20
3.2.1.3 Behandlung der Quellterme	21
3.2.1.4 Druck- Geschwindigkeitskopplung	22
3.2.1.5 Anfangs- und Randbedingungen	23
3.2.1.6 Konvergenzkriterien	24
3.2.2 Konvergenzbeschleunigung	25
3.3 Turbulente Strömung	27
3.3.1 Strömungsgleichungen in Mittelwerten	27
3.3.2 Turbulenzmodell	29
3.4 Problematik offener Kavitäten	31
3.4.1 Literaturübersicht über numerische Arbeiten	31
3.4.2 Bestimmung der Randgrößen an offenen Berechnungsflächen	32
3.5 Rechenmodell für hinterlüftete transparente Wärmedämmfassaden	34
3.5.1 Temperaturrandwerte zur Modellierung der Fassade	34

3.5.2	Gekoppelter Konvektions- und IR-Strahlungstransport	36
3.5.3	Behandlung instationärer Wärmeleitung durch Massivwände	38
4.	Experimentelle Versuchsaufbauten	
4.1	Solarsimulatormeßstand	41
4.2	Freilandvermessung an einer klimatisierten Raumzelle	42
4.2.1	Transparente Wärmedämmung als modulare Einheit	42
4.2.2	Klimakammer	43
5.	Freie Konvektion in vertikalen Spalten - Validierung der Rechenverfahren	
5.1	Geschlossene Spalte	47
5.1.1	Problemkonfiguration	47
5.1.2	Literaturübersicht	48
5.1.3	Strömungsformen und Instationaritäten	48
5.1.4	Vergleich berechneter Ergebnisse mit experimentellen Daten	53
5.1.4.1	Geschwindigkeits- und Temperaturverteilungen	53
5.1.4.2	Temperaturschichtung im Spalt	56
5.1.4.3	Wärmeübertragung	59
5.2	Nicht ausgebildete freie Konvektion in offenen Spalten	62
5.2.1	Einleitung	62
5.2.2	Geschwindigkeits-, Temperatur-, und Druckverhältnisse	63
5.2.3	Wärmeübertragung	68
6.	Charakterisierung der hinterlüfteten transparenten Wärmedämmfassade	
6.1	Systemparameter	71
6.2	Heizfall mit geschlossenem Hinterlüftungsspalt	72
6.2.1	Solarsimulatormessungen unter stationären Randbedingungen	72
6.2.1.1	Spalttemperaturen- und Wärmeströme	73
6.2.2	Wärmeübertragung durch den Hinterlüftungsspalt	77
6.2.2.1	Örtliche und mittlere Wärmedurchlaßkoeffizienten	77
6.2.2.2	Einfluß des Aspektverhältnisses A_x	81
6.2.2.3	Gekoppelter Konvektions- und IR-Strahlungstransport	83
6.3	Konvektion bei geöffnetem Lüftungsspalt	88
6.3.1	Thermische Auftriebströmung	88
6.3.1.1	Auftrieb und Volumenstrom	88
6.3.1.2	Fluidmechanische Energieverluste	91
6.3.2	Stationäre Randbedingungen	94
6.3.2.1	Temperaturen, Wärmeströme und Geschwindigkeitsprofile	94

6.3.3	Wärmeübertragung	99
6.3.3.1	Ableitung der Überschuwärme an die Umgebung	99
6.3.3.2	Einfluß des Aspektverhältnisses A_x	102
6.3.3.3	IR-Emissivitäten der Spaltbegrenzungsflächen	104
6.4	Periodische Wärmebelastung einer transparent gedämmten Massivwand	109
6.4.1	Wandmatrix des TWD-Wandsystems	109
6.4.2	Solartechnische Auswertung der Wandmatrix	113
6.5	Experimentelle Ergebnisse der Freilandvermessung	119
6.5.1	Wärmetransport in der Fassade unter realen Umweltbedingungen	119
6.5.2	Gesamtenergiedurchlaßgrad und Wärmedurchgangszahl des Dämmsystems	123
6.5.3	Effektive k-Werte als Leistungscharakterisierung von Kollektorwänden	125
6.5.4	Sommerlicher Wärmeschutz	128
6.5.5	Einfluß von Windanströmung auf die Fassade	131
6.6	Optimierung - Systemanpassung an Wandaufbau und Baustoff	135
7.	Passiver Solarenergiegewinn durch transparente Wärmedämmung an Gebäuden	
7.1	Einführung	139
7.2	Theoretische Wandmodelle	141
7.3	Parametrisierung der Dämmsystemkenngrößen	144
7.4	Gebäudesimulation	149
7.4.1	Simulationsprogramm SIMHAUS	149
7.4.2	Ergebnisse	151
7.4.2.1	Solarenergetische Gewinne der Fassade	151
7.4.2.2	Nutzungsgrad und Energieeinsparpotential	154
7.4.2.3	Einfluß der Dämmschicht und Wandorientierung	155
7.4.2.4	Regelungsverhalten	157
8.	Zusammenfassung und Ausblick	161
	Literaturverzeichnis	165
	Anhang	177