

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>VII</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>XIII</b>
<b>Nomenklatur.....</b>	<b>XV</b>
<b>1 Einleitung und Zielstellung .....</b>	<b>17</b>
<b>2 Stand der Technik.....</b>	<b>19</b>
2.1 Wärmeübertragung im Gewächshaus .....	19
2.1.1 Strahlung.....	20
2.1.2 Wärmeleitung .....	21
2.1.3 Konvektion .....	22
2.1.4 Evapotranspiration .....	22
2.1.5 Kondensation .....	23
2.1.6 Wärmeverlust durch Luftwechsel .....	23
2.2 Wärmebedarf und Wärmeverbrauch von Gewächshäusern .....	24
2.3 HORTEX – ein Simulationsprogramm für das Gewächshaus.....	27
2.4 Wärmespeicherung im Gewächshaus .....	29
2.5 Regelung der Temperatur und der Luftfeuchte .....	33
2.5.1 Regelung der Temperatur .....	33
2.5.2 Regelung der Luftfeuchte .....	35
2.6 Bedachungsmaterialien und ihre Eigenschaften.....	37
2.7 Energieschirme.....	41
2.7.1 Verhältniswerte $V_{Heiz}$ und $V_{Luft}$ .....	43
2.7.2 Blatttemperatur.....	45
<b>3 Beschreibung der Versuchsanlage.....</b>	<b>46</b>
3.1 Konstruktion.....	46
3.2 Isolierstufen zur Wärmedämmung .....	47

3.3 Wärmeversorgung und Wärmeverteilung .....	49
3.4 Klimaregelung und Datenerfassung.....	51
3.5 Referenzmesstechnik .....	52
3.5.1 Messgeräte .....	52
3.5.2 Messung von Lufttemperatur und Luftfeuchte .....	53
3.5.3 Messung der Wärmemengen .....	54
3.5.4 Messung der Strahlungsdurchlässigkeit.....	54
3.5.5 Messung der Windgeschwindigkeit .....	56
3.6 Kulturtechnische Ausstattung .....	56
<b>4 Durchführung und Auswertung der Untersuchungen .....</b>	<b>58</b>
4.1 Wärmeverbrauchskoeffizient $U_{cs}$ .....	58
4.1.1 Material und Methoden.....	58
4.1.2 Ergebnisse .....	60
4.1.2.1 Messungen ohne Pflanzenbestand .....	60
4.1.2.2 Messungen mit Pflanzenbestand .....	62
4.1.2.3 Messungen mit aufliegenden Energieschirmen.....	65
4.1.3 Zusammenfassung.....	67
4.2 Verhältniswerte $V_{Heiz}$ und $V_{Luft}$ .....	67
4.2.1 Material und Methoden.....	67
4.2.2 Verhältniswert $V_{Heiz}$ .....	68
4.2.2.1 Ergebnisse.....	68
4.2.2.2 Zusammenfassung .....	71
4.2.3 Verhältniswert $V_{Luft}$ .....	72
4.2.3.1 Ergebnisse.....	72
4.2.3.2 Zusammenfassung .....	74
4.3 Wärmeströme .....	75
4.3.1 Material und Methoden.....	75
4.3.2 Ergebnisse .....	75
4.3.3 Zusammenfassung.....	79
4.4 Strahlungsdurchlässigkeit.....	80
4.4.1 Strahlungsdurchlässigkeit der verwendeten Doppelfolien .....	80

4.4.1.1 Material und Methoden .....	80
4.4.1.2 Ergebnisse.....	80
4.4.2 Strahlungsdurchlässigkeit unter den Energieschirmsystemen ...	81
4.4.2.1 Material und Methoden .....	81
4.4.2.2 Ergebnisse.....	82
4.4.3 Zusammenfassung.....	86
4.5 Das Gewächshaus als Wärmespeicher .....	87
4.5.1 Material und Methoden.....	87
4.5.2 Ergebnisse .....	89
4.5.2.1 Wärmeverbrauch und Speicherpotential der Einzeltage.	89
4.5.2.2 Wärmeverbrauch und Speicherpotential für verschiedene Kulturen .....	96
4.5.2.3 Wärmespeicher bei verschiedenen Heizsollwerten ....	100
4.5.3 Zusammenfassung.....	103
4.6 Luftfeuchte im Gewächshaus.....	103
4.6.1 Material und Methoden.....	103
4.6.2 Ergebnisse .....	106
4.6.2.1 „Passive Entfeuchtung“ der Luft bei Heizbedarf .....	106
4.6.2.2 „Aktive Entfeuchtung“ der Luft durch Lüften/Heizen ....	111
4.6.2.3 Entfeuchtungsanteile bei verschiedenen Entfeucht- ungssollwerten.....	115
4.6.3 Zusammenfassung.....	120
4.7 Energieeffizienz .....	121
4.7.1 Material und Methoden.....	121
4.7.2 Ergebnisse .....	123
4.7.3 Zusammenfassung.....	124
<b>5 Diskussion.....</b>	<b>125</b>
5.1 Wärmeverbrauchkoeffizienten .....	125
5.2 Wärmeströme .....	127
5.3 $V_{Luft}$ Wert und $V_{Heiz}$ Wert .....	129
5.4 Einstrahlung in das Gewächshaus.....	130

5.5 Klimaregelstrategien und Wärmespeicherung .....	131
5.5.1 Regelung der Temperatur und Wärmspeicherung .....	131
5.5.2 Regelung und Verhalten der Luftfeuchte.....	132
<b>6 Schlussfolgerungen .....</b>	<b>135</b>
<b>7 Zusammenfassung (<i>Summary</i>) .....</b>	<b>139</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>142</b>
<b>Danksagung .....</b>	<b>150</b>
<b>Curriculum Vitae .....</b>	<b>151</b>
<b>Publikationen .....</b>	<b>152</b>