

I Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-------------|
| II Formelzeichen und Abkürzungen..... | v |
| III Abbildungsverzeichnis..... | xiii |
| IV Tabellenverzeichnis..... | xvii |
| 1 Einleitung | 1 |
| 2 Stand der Technik..... | 3 |
| 2.1 Aktive Maßnahmen der Klimatisierung..... | 3 |
| 2.1.1 Konventioneller Antnebsstrang..... | 3 |
| 2.1.2 Elektrifizierter Antnebsstrang..... | 7 |
| 2.1.3 Aktive Effizienztechnologien..... | 9 |
| 2.2 Passive Maßnahmen der Klimatisierung..... | 11 |
| 2.2.1 Thermische Isolation | 11 |
| 2.2.1.1 Mechanismen der Wärmeübertragung..... | 11 |
| 2.2.1.2 Wirkprinzip | 18 |
| 2.2.1.3 Anwendungsfelder..... | 20 |
| 2.2.1.4 Forschungsstand bei PKW | 27 |
| 2.2.2 Wärmeschutzverglasung..... | 30 |
| 3 Ziel der Arbeit | 33 |
| 4 Methodischer Ansatz..... | 35 |
| 4.1 Konventionelle, simulative Ansätze zur Bewertung des Warmedurchgangs | 35 |
| 4.1.1 Wärmeübertragung in Fahrzeugkabinen und deren Modellierung | 36 |
| 4.1.2 Wärmeübertragung in Umschließungsflächen und deren Modellierung | 42 |
| 4.2 Erweiterter Ansatz zur Bewertung des Wärmedurchgangs | 46 |
| 4.2.1 Ableitung eines Ersatzmodells | 48 |
| 4.2.2 Erstellung eines umsetzungsnahen Maßnahmenkataloges | 50 |
| 4.2.3 Erarbeitung eines Kriterienkataloges | 50 |
| 4.2.4 Bewertung von Einzelmaßnahmen..... | 51 |
| 4.2.5 Bewertung von Maßnahmenbündeln..... | 52 |
| 5 Ableitung eines Ersatzmodells zur Erfassung komplexer Wirkzusammenhänge | 57 |
| 5.1 Systemanalyse..... | 57 |
| 5.2 Materialcharakterisierung..... | 61 |

| | |
|---|-----|
| 5.3 Winterfall: Stationäres Erhaltungsheizen | 65 |
| 5.3.1 Modellierung | 65 |
| 5.3.2 Eingangsgrößen und Randbedingungen | 67 |
| 5.3.2.1 Stationäre Ausnahmerandbedingungen | 67 |
| 5.3.2.2 Einblastemperatur und Massenstrom | 68 |
| 5.3.3 Experimentelle Modellvalidierung | 69 |
| 5.3.4 Systemdefinition | 70 |
| 5.3.5 Ergebnisse | 71 |
| 5.4 Sommerfall: Transiente Standaufheizung mit Cool-Down | 75 |
| 5.4.1 Modellierung | 76 |
| 5.4.2 Eingangsgrößen und Randbedingungen | 79 |
| 5.4.2.1 Instationäre Ausnahmerandbedingungen | 79 |
| 5.4.2.2 Einblastemperatur und Massenstrom | 81 |
| 5.4.3 Experimentelle Modellvalidierung | 82 |
| 5.4.4 Systemdefinition | 83 |
| 5.4.5 Ergebnisse | 85 |
| 5.4.5.1 Passive Standaufheizung | 85 |
| 5.4.5.2 Cool-Down | 90 |
| 6 Ableitung eines Maßnahmenkataloges für die Karosserieisolation | 93 |
| 6.1 Unterboden | 93 |
| 6.2 Stirnwand | 95 |
| 6.3 Tür | 98 |
| 6.4 Dach | 101 |
| 6.5 A-/B-/C-/D-Säulen | 104 |
| 7 Energetische Bewertung von Einzelmaßnahmen | 107 |
| 7.1 Baugruppen mit Luftspalt | 107 |
| 7.1.1 Berechnungsmodell für die Türstruktur | 107 |
| 7.1.1.1 Das Simulationsmodell | 107 |
| 7.1.1.2 Experimentelle Validierung | 108 |
| 7.1.1.3 Einflussanalyse des Wärmedurchgangs | 111 |
| 7.1.1.4 Bewertung von Isolutionskonzepten | 116 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 7.1.2 | Berechnungsmodell für die Dachstruktur | 119 |
| 7.1.2.1 | Das Simulationsmodell | 119 |
| 7.1.2.2 | Experimentelle Validierung | 120 |
| 7.1.2.3 | Analyse der Einflussgrößen auf die Wärmeübertragung | 123 |
| 7.1.2.4 | Bewertung von Isolutionskonzepten | 127 |
| 7.1.3 | Berechnungsmodell für die Säulenstruktur. | 131 |
| 7.1.3.1 | Das Simulationsmodell | 131 |
| 7.1.3.2 | Analyse der Einflussgrößen auf die Wärmeübertragung | 132 |
| 7.1.3.3 | Bewertung von Isolutionskonzepten | 134 |
| 7.2 | Baugruppen ohne Luftspalt | 135 |
| 7.2.1 | Unterboden | 135 |
| 7.2.2 | Stirnwand | 137 |
| 8 | Automobilspezifische Bewertung von Einzelmaßnahmen | 141 |
| 8.1 | Auswahl der Anforderungskriterien | 141 |
| 8.2 | Priorisierung im Hinblick auf die technische Realisierbarkeit | 146 |
| 9 | Ableitung einer Baugruppenstrategie | 151 |
| 9.1 | Digitales Mapping: Ersatz der fehlenden Fahrzeugumgebung | 151 |
| 9.2 | Bewertung von Maßnahmenkombinationen | 153 |
| 9.3 | Experimentelle Validierung | 159 |
| 9.3.1 | Stationäres Erhaltungsheizen im Winter | 160 |
| 9.3.2 | Passive Standaufheizung im Sommer | 161 |
| 10 | Zusammenfassung und Ausblick | 163 |
| V | Literatur | 167 |
| VI | Anhang | 175 |
| VII | Lebenslauf | 185 |