

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Stand der Technik und Ziele der Arbeit</b>	<b>3</b>
2.1	Be- und Enttauung in lichttechnischen Geräten	3
2.1.1	Historische Entwicklung der automobilen Lichttechnik	3
2.1.2	Ursachen der Betauung	4
2.1.3	Maßnahmen zum Klima-Management in Scheinwerfern	6
2.2	Experimentelle Qualitätssicherung	9
2.2.1	Stand-alone-Laborversuche	9
2.2.2	Fahrversuche	10
2.2.3	Bewertung der experimentellen Untersuchungen	12
2.3	Theoretische Untersuchungen zur Be- und Enttauung in lichttechnischen Geräten	13
2.4	Aufbau und Ziele der Arbeit	15
<b>3</b>	<b>Modellierung der Be- und Enttauungsprozesse</b>	<b>19</b>
3.1	Wärme- und Stofftransport	19
3.1.1	Kontinuitätsgleichung	19
3.1.2	Impulsgleichung	24
3.1.3	Energiegleichung	25
3.1.4	Wärme- und Stofftransport in turbulenten Strömungen	29
3.2	Phasenumwandlungsprozesse	31
3.2.1	Zustandsbeschreibung von Gasen und ihren Gemischen	31
3.2.2	Spontane Phasenumwandlungen innerhalb von Kernströmungen	36
3.2.3	Phasenumwandlungen an technischen Oberflächen	41
3.3	Simulation von Be- und Enttauungsvorgängen mit einem kommerziellen CFD-Tool	51
3.3.1	Ablauf der Berechnung von Be- und Enttauungsvorgängen	52
3.3.2	Abschließende Bemerkungen zur Erweiterung von Simulationstools	56
<b>4</b>	<b>Validierung der Simulationsmethode</b>	<b>59</b>
4.1	Versuchsaufbau	59
4.2	Eingesetzte Messtechniken	62
4.2.1	Messung der Temperaturen und Luftfeuchtigkeiten	62

---

4.2.2	Messung der Strömungsgeschwindigkeiten und der Volumenströme . . . . .	65
4.2.3	Messung der Kondensatstärken . . . . .	66
4.3	Einfluss der Kondensationsfläche auf das Tropfenwachstum . . . . .	79
4.4	Vergleich der Simulations- und Messergebnisse. . . . .	82
4.4.1	Beschreibung des Simulationsmodells . . . . .	83
4.4.2	Analyse der Simulationsergebnisse . . . . .	88
4.4.3	Bewertung der Simulationsmethodik . . . . .	111
<b>5</b>	<b>Anwendung der Simulationsmethodik auf Kfz-Scheinwerfer . . . . .</b>	<b>113</b>
5.1	Bestimmung der betauungsgefährdeten Bereiche . . . . .	113
5.1.1	Laborversuch zur Lagebestimmung betauungsgefährdeter Bereiche . . . . .	113
5.1.2	Simulative Nachbildung des Laborversuchs . . . . .	115
5.1.3	Bewertung des Verfahrens . . . . .	121
5.2	Transiente Simulation der Be- und Enttauung in Kfz-Scheinwerfern. . . . .	124
5.2.1	Bestimmung des Anfangszustands und der relevanten Umgebungsbedingungen . . . . .	125
5.2.2	Gegenüberstellung der Simulationsergebnisse . . . . .	131
5.2.3	Bewertung des Verfahrens. . . . .	134
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick . . . . .</b>	<b>137</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>	<b>141</b>