

# Inhaltsverzeichnis

---

<b>Abkürzungs- und Symbolverzeichnisse</b>	<b>XI</b>
Symbolverzeichnis . . . . .	XI
Abkürzungsverzeichnis . . . . .	XV
<b>Danksagung</b>	<b>XVII</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1. Motivation . . . . .	1
1.2. Stand der Technik . . . . .	3
1.3. Beiträge und Aufbau . . . . .	6
<b>2. Grundlagen</b>	<b>9</b>
2.1. Massen- bzw. Volumenstrom von Gasen . . . . .	9
2.2. Infrarotoptische Gasfernmessstechnik . . . . .	10
2.2.1. Infrarotthermografie . . . . .	14
2.2.2. Tuneable Diode Laser Absorption Spectroscopy (TDLAS) . . . . .	14
2.3. Optischer Fluss und Fluidfluss . . . . .	16
2.3.1. Optischer Fluss . . . . .	16
2.3.2. Turbulente Strömung . . . . .	17
2.3.3. Optischer Fluss von Fluidströmungen . . . . .	20
<b>3. Messverfahren und Messsystem</b>	<b>22</b>
3.1. Messmodell . . . . .	22
3.1.1. Herleitung . . . . .	22
3.1.2. Annahmen und Randbedingungen . . . . .	25
3.2. Verwendete Sensorik, Messaufbau und Sensorcharakterisierung . . . . .	27
3.2.1. TDLAS-basierter Sensor . . . . .	27
3.2.2. Infrarotkamera zur Gasvisualisierung . . . . .	42
3.2.3. Druck-Temperatur-Sensor . . . . .	47
3.2.4. Geometrische Kalibrierung von TDLAS-basiertem Sensor und Gas- kamera . . . . .	48
3.3. Sensordatenverarbeitung . . . . .	53
3.3.1. Bestimmung der Gasgeschwindigkeit mittels Bildverarbeitung . . . . .	53
3.3.2. Modellauswertung . . . . .	58
3.4. Bewertung . . . . .	58
<b>4. Theoretische Untersuchungen</b>	<b>61</b>
4.1. Fehler durch nicht erfüllte Annahmen oder Randbedingungen . . . . .	61
4.2. Fehlerfortpflanzung . . . . .	67

4.3. Bewertung . . . . .	69
<b>5. Experimentelle Untersuchungen</b>	<b>71</b>
5.1. Laboruntersuchungen . . . . .	71
5.1.1. Schätzung der Gasgeschwindigkeit . . . . .	72
5.1.2. Bestimmung des Normvolumenstroms . . . . .	80
5.2. Versuche in Biogasanlagen . . . . .	82
5.2.1. Untersuchung typischer Leckagen . . . . .	82
5.2.2. Simulierte Leckagen . . . . .	84
5.2.3. Reale Leckagen . . . . .	89
5.3. Bewertung . . . . .	91
<b>6. Zusammenfassung &amp; Ausblick</b>	<b>95</b>
6.1. Zusammenfassung . . . . .	95
6.2. Ausblick . . . . .	97
<b>A. Anhang</b>	<b>XIX</b>
A.1. Vereinfachung der Radiative Transfer Equation (RTE) . . . . .	XIX
A.2. Verzerrungsvektorfelder der Gaskamera . . . . .	XX
A.3. Fehlerhafter Ansatz zur geometrischen Kalibrierung von TDLAS-basiertem Sensor und Gaskamera . . . . .	XXI
A.4. Datenerfassung . . . . .	XXIV
A.5. Ergänzungen zu den experimentellen Untersuchungen . . . . .	XXVII
<b>B. Publikationen</b>	<b>XXIX</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>XXX</b>