

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis	V
1 Einleitung und Zielsetzung	1
2 Stand der Forschung	5
2.1 Treibstoffhandhabung in Oberflächenspannungstanks	6
2.2 Oberflächenspannung, Randwinkel und Kapillarität	8
2.3 Strömungen in offenen Kapillarkanälen	13
2.3.1 Strömungsgrundlagen	13
2.3.2 Literaturübersicht	15
2.4 Das Choking-Phänomen	18
3 Theoretisches Modell	23
3.1 Modellannahmen und Grundgleichungen	23
3.2 Entdimensionierung und Kennzahlen	27
3.3 Modellierung der freien Flüssigkeitsoberfläche	31
3.4 Modellierung des irreversiblen Druckverlustes	35
3.5 Modellgleichungen und numerisches Lösungsverfahren	37
4 Begrenzung des Volumenstroms durch Choking	39
4.1 Ausbreitung longitudinaler Wellen	40
4.2 Analogiebetrachtungen	43
4.3 Bestimmung und Eigenschaften der Kapillarwellengeschwindigkeit und des Geschwindigkeitsindex	46
4.4 Theoretische Formulierung	49
4.4.1 Strömungen ohne axiale Beschleunigung	51
4.4.2 Strömungen mit axialer Beschleunigung	54
5 Aufbau und Durchführung der Experimente	59
5.1 Experimente im Fallturm	59
5.1.1 Das Fallkapselsystem	60
5.1.2 Versuchsaufbau	60

Inhaltsverzeichnis

5.1.3	Versuchsdurchführung	65
5.2	Experiment auf TEXUS-37	66
5.2.1	Das TEXUS-System	66
5.2.2	Versuchsaufbau	66
5.2.2.1	Vorkammer und Fluidmanagement	69
5.2.2.2	Auslegung des Kapillarkanals	71
5.2.2.3	Optische Auslegung	72
5.2.3	Versuchsdurchführung	73
5.2.3.1	Experimentprozeduren	74
5.2.3.2	Experimentverlauf	75
5.3	Messtechnik	77
5.3.1	Temperaturmessung	77
5.3.2	Messung des Volumenstroms	78
5.4	Auswahl der Versuchsparameter	79
5.5	Ermittlung und Optimierung der Randbedingungen	81
6	Auswertung und Messfehler	87
6.1	Aufbereitung des Videomaterials	87
6.2	Auswertung der Oberflächenprofile	88
6.2.1	Kantenerkennung	89
6.2.2	Koordinatentransformation	91
6.2.3	Optische Brechung	93
6.2.4	Mittelung der Profile	95
6.2.5	Fehlerbetrachtung	96
6.2.5.1	Genauigkeit der Kantenerkennung und Bildfehler	96
6.2.5.2	Grenzen der Profilerkennung	99
6.2.5.3	Fehler des Profils und Folgefehler abgeleiteter Größen	100
6.3	Auswertung anderer Größen	102
6.3.1	Bestimmung des kapillargetriebenen Volumenstroms	102
6.3.2	Zeitverhalten der freien Oberflächen	103
6.3.3	Bestimmung der Tracergeschwindigkeiten	108
6.3.4	Verifikation des Volumenstroms im TEXUS-Experiment	108
6.3.5	Messung der Stoffdaten	113
7	Ergebnisse und Diskussion	117
7.1	Experimentelle Beobachtungen	118
7.1.1	Quasistationäre Strömung	118
7.1.2	Instationäre Strömung	120
7.2	Verifikation des Strömungsmodells	122

7.2.1	Oberflächenprofile der Fallturmexperimente	124
7.2.1.1	Profilmerkmale	124
7.2.1.2	Reproduzierbarkeit	129
7.2.1.3	Vergleich mit numerischen Ergebnissen	131
7.2.2	Oberflächenprofile und Geschwindigkeitsmessungen des TEXUS- Experiments	134
7.2.2.1	Profilmerkmale und Reproduzierbarkeit	134
7.2.2.2	Vergleich mit numerischen Ergebnissen	137
7.2.2.3	Tracergeschwindigkeiten	140
7.3	Einfluss des Geschwindigkeitsindex auf die Grenze des Volumenstroms	144
7.3.1	Ergebnisse des TEXUS-Experiments	144
7.3.2	Gasdurchbruch infolge von Choking	149
7.3.3	Gasdurchbruch infolge instationärer Randbedingungen	151
7.3.4	Ergebnisse der Fallturmexperimente	153
7.4	Einfluss der Reibungsverluste auf die Strömung	161
7.4.1	Klassifizierung charakteristischer Kennzahlbereiche	161
7.4.2	Konvektiv dominierter Bereich und Übergangsbereich	163
7.4.3	Dissipativ dominierter Bereich	168
7.5	Näherungslösungen	170
7.5.1	Analytische Lösungen	170
7.5.2	Fit an numerische Daten	172
8	Zusammenfassung	175
9	Ausblick	181
A	Diskretisierung der Differentialgleichungen	183
B	Druckverlust der Einlaufströmung	185
C	Experimentauswertung	189
C.1	Parameter, Experimentverläufe und Beobachtungen	189
C.2	Fehlerdefinition	193
C.3	Größen zur Bildverarbeitung	194
C.4	Markierungen des TEXUS-Kanals	197
C.5	Volumenstrom im Ausgleichsrohr	200
C.6	Stoffdaten der verwendeten Flüssigkeiten	202
	Literaturverzeichnis	203