

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	IX
Nomenklatur	XI
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Ziele	3
1.3 Lösungsweg	3
2 Stand der Forschung	6
2.1 Strömungssimulation von Pumpen kleiner spezifischer Drehzahl	6
2.2 Dominante Verluste in Pumpen kleiner spezifischer Drehzahl	9
2.3 Modellierung der Wandgrenzschichtströmung	12
2.3.1 Modellierung des Rauheitseinflusses	14
2.3.2 Modellierung von Strömungsablösung	17
2.4 Experimentelle Bestimmung der Wandschubspannung	18
2.5 Modelle der relevanten Pumpenströmungen und deren Verluste	20
2.5.1 Spiralgehäuse	20
2.5.2 Radseitenraumströmung	25
2.5.3 Dichtspaltströmung	29
2.6 Zusammenfassung	34
3 Grundlagen der Strömungssimulation	35
3.1 Strömungsmechanische Grundlagen	35
3.2 Simulation turbulenter Strömungen	36
3.2.1 Reynolds-Mittelung	37
3.2.2 Turbulenzmodellierung	38
3.3 Numerische Strömungsmechanik	41
3.3.1 Räumliche Diskretisierung	41
3.3.2 Diskretisierung der Transportgleichungen	42

3.3.3	Wandbehandlung	42
4	Verwendete Methoden	48
4.1	Experimentelle Methoden	48
4.1.1	Versuchspumpe	48
4.1.2	Erzeugung rauer Wände	49
4.1.3	Messgrößen und -orte	50
4.1.4	Herkömmliche Messtechnik	52
4.1.5	Wandschubspannungsmessung	53
4.1.6	Abgeleitete Größen	58
4.1.7	Messunsicherheit	58
4.2	Numerische Methoden	59
4.2.1	Gittererstellung	59
4.2.2	Solvereinstellungen	61
4.2.3	Rand- und Anfangsbedingungen	61
4.2.4	Betrachtung der Unsicherheit von Strömungssimulationen	62
4.2.5	Abschätzung des Diskretisierungsfehlers	63
4.2.6	Methode zur Abschätzung des Modellierungsfehlers des logarithmischen Wandgesetzes	64
5	Numerische Untersuchungen	66
5.1	Validierung des numerischen Modells anhand hydraulischer Kenndaten	66
5.2	Modellierungsfehler des logarithmischen Wandgesetzes	68
5.2.1	Lokale Verteilung des Modellierungsfehlers	69
5.2.2	Modellierungsfehler im Spiralgehäuse	71
5.2.3	Modellierungsfehler im vorderen Radseitenraum	72
5.2.4	Modellierungsfehler im Dichtspalt	73
5.3	Verlustanalyse	74
5.4	Methodik zur verbesserten Simulation von Pumpen kleiner spezifischer Drehzahl	76
5.5	Fazit	78
6	Strömungsuntersuchung in den verlustreichen Regionen	79
6.1	Strömung im Spiralgehäuse	79
6.1.1	Umströmung der Spiralzunge	79
6.1.2	Wechselwirkung der Strömung	81
6.1.3	Druckverteilung	85
6.2	Strömung in den Radseitenräumen	86
6.2.1	Umfangsgemittelte Strömung	87

6.2.2	Kopplung der Strömung	88
6.2.3	Strömung in Umfangsrichtung und Druckverteilung	89
6.2.4	Strömung in Radialrichtung und Grenzschichtströmung	91
6.2.5	Charakterisierung der Wandschubspannung durch direkte Messung	94
6.3	Strömung im Dichtspalt	95
6.3.1	Beschreibung Strömungsfeld	97
6.3.2	Einfluss auf Strömung im Saugmund	100
6.4	Fazit	103
7	Untersuchung des Rauheitseinflusses	104
7.1	Rauheitsregime	104
7.2	Hydraulische Pumpenkennwerte und Verluste	107
7.3	Strömung im Spiralgehäuse	108
7.3.1	Verluste	108
7.3.2	Strömungsfeld	110
7.3.3	Kopplung der Strömung	112
7.4	Strömung im vorderen Radseitenraum	114
7.4.1	Umfangsgemittelte Strömung	114
7.4.2	Strömung in Umfangsrichtung und Druckverteilung	115
7.4.3	Strömung in Radialrichtung	116
7.5	Strömung im Dichtspalt	118
7.6	Fazit	120
8	Zusammenfassung und offene Forschungsfragen	121