

I Inhaltsverzeichnis

I	Inhaltsverzeichnis.....	I
II	Abbildungsverzeichnis	IV
III	Tabellenverzeichnis	XII
IV	Abkürzungen	XIII
V	Formelzeichen.....	XVI
VI	Kurzfassung	XIX
VII	Abstract.....	XX
1	Einleitung	1
2	Stand der Technik.....	3
2.1	Laserstrahlschweißen im Vakuum	3
2.1.1	Verfahrensprinzip Laserstrahlschweißen.....	3
2.1.2	Einfluss des Umgebungsdrucks	8
2.1.3	Schutzsystem – Einkoppelfenster	13
2.1.4	Abgrenzung zum Elektronenstrahlschweißen.....	14
2.2	Schweißen von Refraktärmetallen	16
2.2.1	Titanwerkstoffe.....	17
2.2.2	Niob	18
2.3	Modellbildung in der Schweißtechnik	19
2.3.1	Modellbegriff	20
2.3.2	Strömungsmodell/Strömungssimulationen	20
3	Zielsetzung der Arbeit	22
3.1	Problemstellung und Zielsetzung	22
3.2	Lösungsansatz.....	25
4	IST-Analyse – LaVa-Schweißen von nichtrostenden Stählen	27
4.1	Versuchsaufbau und Versuchsrandbedingungen.....	28
4.1.1	Anlagenaufbau Focus LaVa 95	28

4.1.2	Versuchswerkstoffe	31
4.1.3	Steuergrößen – Prozessparameter	31
4.1.4	Definition der Schweißnaht-Zielgrößen	33
4.2	Einfluss der Prozessparameter auf die Schweißnahtqualität	36
4.3	Einfluss der Prozessströmungen	44
4.3.1	Beobachtungen zum Prozessverhalten beim LaVa-Schweißen	47
4.3.2	Analyse der Strömungsgeschwindigkeiten beim LaVa-Schweißen	50
4.4	Einfluss der Prozessemisionen	58
4.4.1	Quantifizieren der entstehenden Prozessemisionen	58
4.4.2	Zusammensetzung der Prozessemisionen	60
4.4.3	Einflussfaktoren auf die Zusammensetzung	65
5	Modellerstellung	68
5.1	Theoretisches Anlagenmodell (Modellbildung)	68
5.2	Strömungsmodell (Simulationsmodell)	70
5.2.1	Strömungsmodell in ANSYS	70
5.2.2	Verifikation des Strömungsmodells	78
5.3	Simulationsergebnisse/Prozessmodell („Ersatzmodell“)	80
5.3.1	Definition des Auswertebereichs	80
5.3.2	Modellvalidierung (Vergleich „Realversuch“ <-> „Strömungsmodell“)	83
6	Optimierung der Prozessführung	87
6.1	Betrachtung des Anlagenaufbaus	87
6.1.1	Randbedingungen für Optimierung	87
6.1.2	Simulative Optimierung des Anlagenaufbaus	90
6.2	Betrachtung der prozesseitigen Anpassungsmöglichkeiten	94
7	Übertragbarkeit der Optimierung auf Refraktärmetalle	116
7.1	Schweißen von Titanlegierungen	116
7.1.1	Referenzschweißungen	116
7.1.2	Übertrag der bisherigen Erkenntnisse	118

7.2	Schweißen von Niob	123
8	Zusammenfassung und Ausblick	127
9	Literaturverzeichnis	133
9.1	Studentische Arbeiten	143
10	Anhang	144
10.1	Analysen der verwendeten Grundwerkstoffe	144
10.2	Strahlvermessung	145
10.3	Versuchspläne für Untersuchung Einfluss Prozessparameter	146
10.4	Korrosionsuntersuchungen	148
10.5	Spektrometer-Messungen	149
10.6	Strömungsmodell	151
10.7	Prüfverfahren	152
10.7.1	Sichtprüfung	152
10.7.2	Makro- und Mikroschliff	152
10.7.3	Härteprüfung	153
10.8	Visualisierungen Morphologischer Kasten	153
10.9	Schweißungen von Titanlegierungen	160