

Elementspezifische Analyse primärverzunderter Stranggussstähle mit Laser-Emissionsspektroskopie

**Element-Specific Analysis of Scaled Continuous Casted Steel by
Laser-induced Breakdown Spectroscopy**

Von der Fakultät für Maschinenwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen
Hochschule Aachen zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der
Naturwissenschaften genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Christoph Meinhardt

Berichter Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Reinhart Poprawe
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang Schade

Tag der mündlichen Prüfung: 13. November 2017

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Motivation	1
2	Grundlagen	5
2.1	Wechselwirkung zwischen Material und Laserstrahlung . .	5
2.2	Grundlagen der Laser-Emissionsspektroskopie	8
2.2.1	Linienemission	8
2.2.2	Linienverbreiterung	15
2.2.3	Selbstabsorption durch das Plasma	16
2.2.4	Plasmen in Kavitäten	18
3	Deckschichtbildung an Blockoberflächen	21
3.1	Oxidbildung an der Oberfläche	21
3.2	Seigerung während der Erstarrung	24
3.3	Kohlenstoffanteil der Randschicht	28
4	Experimenteller Aufbau	31
4.1	Anordnung der Komponenten	31
4.2	Laserstrahlungsquelle	34
4.3	Strahlauslenkung	40
4.4	Spektrometersysteme	43
4.4.1	Paschen-Runge-Spektrometer	43
4.4.2	Echelle-Spektrometer	45
4.4.3	Czerny-Turner-Spektrometer	46
4.5	Ablauf einer Prüfsequenz	49
5	Probenahme und Präparation	53
6	Auswertungsverfahren der Messdaten	57
6.1	Linienintensitäten	57
6.2	Kalibrierung	61
6.2.1	Bestimmung der Analysenfunktion	61

6.2.2	Kennzahlen eines Messverfahrens	63
6.2.3	Interelementkorrektur	67
7	Ergebnisse und Diskussion	73
7.1	Untersuchung der Ablationsrate	73
7.2	Charakterisierung der Deckschichten	77
7.3	Vergleich von LIBS-Messungen an Stirn- und Gussfläche .	81
7.4	LIBS-Messungen mit unterschiedlichen Lasereinstellungen	83
7.5	Einfluss der Kratertiefe auf die Plasmaparameter	89
7.5.1	Bestimmung der Plasmatemperatur	89
7.5.2	Berücksichtigung der Plasmatemperaturen	94
7.5.3	Untersuchung der Elektronendichte	102
7.6	Strahlauslenkung in der Messphase	105
7.7	Effektivität des Abtragschrittes	110
7.7.1	Vorversuche an homogenen Stahlproben	110
7.7.2	Abtragseffektivität an Stahl-Messing Proben . . .	112
7.7.3	Materialverschleppungen in Querschliffbildern . . .	120
7.8	Verbesserung der Abtragsstrategie	123
7.9	Verfahrenskenngrößen zweier Abtragsstrategien	130
8	Vergleich mit dem Stand der Technik	141
9	Zusammenfassung und Ausblick	145
A	Anhang	149
A.1	Zustandssummen für Eisen, Chrom und Nickel	149
A.2	Einfluss der Gaspülung	151
A.3	Parametersätze der einzelnen Versuchsreihen	153
A.4	Liste der Proben	158
	Strangusstahl	158
	Messing	159
A.5	Quellen zur LIBS-Messtiefen	161
A.6	Verwendete Linien	162
A.7	Abkürzungen, Konstanten und Formelzeichen	164
	Abkürzungen	164
	Physikalische Konstanten	164
	Formelzeichen	165

<i>Inhaltsverzeichnis</i>	V
Abbildungsverzeichnis	166
Tabellenverzeichnis	168
Literatur	169
Kurzzusammenfassungen nach § 17 Promotionsordnung	182
Danksagung	183
Eidesstattliche Versicherung	184