

Pfeiffer

# **Handbuch der Flammrichttechnik**

Metallurgie, Verfahren, Geräte  
und Anwendungsbeispiele

<b>1</b>	<b>Einführung in die Flammrichttechnik</b> .....	<b>1</b>
1.1	Entstehung des Begriffs „Flammrichten“ .....	1
1.2	Beschreibung des Flammrichtens .....	2
1.2.1	Flammrichten aus metallurgischer Sicht .....	2
1.2.2	Flammrichten aus verfahrenstechnischer Sicht .....	3
1.3	Anwendung des Flammrichtens .....	6
1.4	Beanspruchung von Werkstück und Werkstoff .....	7
	Bewährung des Flammrichtens .....	7
1.5	Mechanische Richtverfahren im Vergleich .....	8
1.6	Flammrichten in Verbindung mit anderen Verfahren .....	11
1.6.1	Flammrichten mit Hämmern .....	11
1.6.2	Flammrichten mit Vordruck .....	11
1.6.3	Flammrichten in Verbindung mit Warmumformen .....	12
1.6.4	Flammrichten in Verbindung mit Brennschneiden oder Brennfugen und Schweißen. . .	13
<b>2</b>	<b>Grundlagen des Flammrichtens</b> .....	<b>14</b>
2.1	Wärmeausdehnung und Schrumpfung .....	14
2.2	Elastische Formänderung .....	14
2.3	Bleibende Formänderung .....	15
2.3.1	Größe der Aufstauch- und Schrumpfkkräfte .....	16
2.3.2	Beziehung zwischen Temperatur, Festigkeit und Spannung beim Flammrichten .....	16
2.4	Spannungsabbau und Restspannungen .....	18
2.5	Berücksichtigung von Eigenspannungen .....	19
2.6	Berücksichtigung der Belastungsspannungen .....	20
2.7	Art und Wirkung der Schrumpfkkräfte .....	20
2.8	Wärmeausdehnung und Bauteilsteifigkeit .....	21
2.9	Berücksichtigung der Werkstoffeigenschaften und der Bauteiloberflächen .....	21
<b>3</b>	<b>Flammrichtmetallurgie</b> .....	<b>23</b>
3.1	Flammrichteignung .....	23
3.2	Werkstoffbezogenes Flammrichten .....	23
3.3	Beachtung wärmetechnischer Eigenschaften .....	24
3.3.1	Wärmeausdehnung und Richtwirkung .....	24
3.3.2	Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärme und Brennergröße .....	25
3.3.3	Temperaturbereich für das Flammrichten .....	26
	Untere Temperaturgrenze .....	26
	Obere Temperaturgrenze .....	28
3.4	Beachtung metallurgischer Eigenschaften bei der Wärmeführung .....	29
3.4.1	Wärmeeinbringung .....	29
3.4.2	Flammrichttemperatur .....	30
3.4.3	Einfluß der Abkühlgeschwindigkeit .....	30
3.4.4	Oberflächenbeeinflussung und Flammeneinstellung .....	31

3.4.5	Flammrichten in Verbindung mit einer Wärmebehandlung oder einer mechanischen Bearbeitung des Bauteils	31
3.5	Werkstoffbeeinflussung beim Flammrichten und beim Schweißen	32
3.6	Vorschriften und Richtlinien	32
3.7	Kennwerte für das Flammrichten von Stählen, Stahlguß, Schwer- und Leichtmetallen in Tabelle 3-4	33
3.7.1	Angaben zur Benutzung der Tabelle 3-4	33
3.7.2	Erläuterungen zu den einzelnen Werkstoffgruppen und -sorten in Tabelle 3-4	40
	Werkstoffgruppe 1: Werkstoff des Bauteils unbekannt	40
	Werkstoffgruppe 2: Stähle	40
	Zehn Arbeitsregeln für das Flammrichten der austenitischen Chrom-Nickel-Stähle	60
	Arbeitsregeln für das Flammrichten von Duplexstählen	64
	Werkstoffgruppe 3: Stahlguß	65
	Werkstoffgruppe 4: Nickel und Nickellegierungen	66
	Werkstoffgruppe 5: Kupfer und Kupferlegierungen	67
	Werkstoffgruppe 6: Aluminium und Aluminiumlegierungen	68
	Zehn Arbeitsregeln für das Flammrichten der Aluminiumwerkstoffe	69
	Werkstoffgruppe 7: Titan und schweißgeeignete Titanlegierungen	73
<b>4</b>	<b>Verfahrenstechnik des Flammrichtens</b>	<b>75</b>
4.1	Einführung	75
4.2	Methoden zur Behinderung der Wärmeausdehnung	75
4.3	Lage der Richtstelle	77
4.3.1	Symmetrische Lage der Richtstelle zum Verkürzen	77
4.3.2	Unsymmetrische Lage der Richtstelle zum Krümmen	78
4.3.3	Unsymmetrische Lage der Richtstelle zum Verwinden	81
4.3.4	Unsymmetrische Lage der Richtstelle zum Verdrehen	81
4.3.5	Sonderfälle bezüglich der Lage der Richtstelle	81
4.4	Wärmefiguren und ihre Anwendung	82
4.4.1	Wärmepunkt	85
4.4.2	Wärmepunktfeld	86
4.4.3	Wärmeoval	86
4.4.4	Wärmering	86
4.4.5	Wärmestraßen	86
	Wärmestrich	86
	Wärmepunktstraße	87
	Zwei- bis Fünfstrich-Wärmestraßen	87
4.4.6	Dreistrich- bis Fünfstrich-Wärmefeld	88
4.4.7	Wärmekeil	88
4.4.8	Besondere Wärmefiguren	89
4.4.9	Kombination von Wärmefiguren	89
4.5	Flammrichtvorgang	90
4.5.1	Vorbereiten der Flammrichtarbeit	90
4.5.2	Bauteiloberfläche	90
4.5.3	Wärmeeinbringen	91
4.5.4	Brennergröße	91
4.5.5	Einstellen der Flamme	92

4.5.6	Beobachten und Messen der Richttemperatur mit Glühfarben	93
4.5.7	Abkühlen	93
4.5.8	Nachbehandeln	94
4.5.9	Einfluß nachträglicher Wärmebehandlung	94
4.5.10	Mehrmaliges Flammrichten	94
4.5.11	Kontrolle der Richtstellen	94
<b>5</b>	<b>Geräte und Betriebsmittel</b>	<b>95</b>
5.1	Messen des Verzugs und des Richterfolgs	95
5.2	Anzeichnen der Wärmefiguren	95
5.3	Geräte zur Behinderung der Wärmeausdehnung	95
5.3.1	Allgemeine Anforderungen	95
5.3.2	Flammrichtportale	96
5.3.3	Lochplatten	96
5.3.4	Vakuumpplatten	98
5.4	Aufbringen der Wärmefiguren	99
5.4.1	Gasversorgung	99
5.4.2	Flammrichtbrenner	100
	Brennergriffstücke	100
	Brennereinsätze und Düsen	101
5.4.3	Geeignete Brennerarten und -größen zum Flammrichten	105
5.4.4	Geräte für das mechanische Flammrichten	106
5.4.5	Einsatz, Behandlung und Wartung der Autogengeräte	106
5.5	Temperaturmessung	106
5.6	Geräte zum Hämmern und Gegenhalten	108
5.7	Beschleunigen und Verzögern der Abkühlung	108
5.8	Nachbehandeln der Richtstellen	108
5.9	Prüfgeräte	109
<b>6</b>	<b>Betriebliche Maßnahmen</b>	<b>110</b>
6.1	Planung und Arbeitsvorbereitung	110
6.2	Personaleinsatz	110
6.3	Ausbildung	111
6.4	Unfallverhütung und Brandschutz	112
<b>7</b>	<b>Flammrichtbeispiele zur Formgebung an Bauteilen (ohne Schweißverzug)</b>	<b>113</b>
7.1	Rohre, Rohrleitungen, Zylinder, Konusse, Ringe	113
7.1.1	Lage, Art und Folge der Wärmefiguren	113
7.1.2	Rohrkrümmen in zwei Ebenen	115
7.1.3	Zylinderkrümmung beheben	116
7.1.4	Rohrkonusse und Düsen richten	116
7.1.5	Ovale Formen runden und örtliche Unrundheit beheben	117
7.1.6	Kantenversatz beheben	118
7.1.7	Rohrschlangenkrümmung einstellen	118
7.2	Hohlprofile	118
7.3	Stäbe, Flachzeug und Dickblechlamellen	120
7.4	Wellen	121
7.4.1	Flammrichten der Unrundheit an Wellen aus gezogenem Rundstahl	122

7.4.2	Flammrichten von vergüteten Exzenterwellen aus Stahl 42 CrMo 4	122
7.5	Walz- und Preßprofile	123
7.5.1	Art und Lage der Wärmefiguren	123
7.5.2	Beheben der seitlichen Krümmung eines U-Profiles aus St 37 (S235)	125
7.5.3	Flammrichten von Breitflanschträgern aus St 37 (S235)	126
7.5.4	Flammrichten eines nach zwei Richtungen verbogenen Doppel-T-Trägers	126
7.5.5	Herstellen einer Bogenbrücke durch das Flammrichten	127
7.5.6	Beseitigen von Verwindungen und Verdrehungen	129
7.6	Schienen	130
7.6.1	Flammrichten der Schiene zur Seite und in die Ebene	130
7.6.2	Flammrichten im Gleisnetz	131
7.7	Bleche und Platten	132
7.7.1	Beseitigen einer Beule im Segment eines Kupferbodens	132
7.7.2	Flammrichten thermisch geschnittener Ringe aus X 2 CrNiMoN 17 13 5	133
7.7.3	Flammrichten dicker Bleche, Platten oder Brammen (Stahl)	135
7.8	Blechformteile	135
7.8.1	Art und Lage der Wärmefiguren für das Krümmen	135
7.8.2	Nachkrümmen gerollter oder warmgepreßter Blechkanten an Behälterschalen aus St 37-2 (S235JR)	136
7.8.3	Konisches Krümmen der Halbschalen eines Hochofenpanzers aus St 37 (S235)	136
7.8.4	Flammrichten der Krepensegmente eines Tankbodens aus StE 285 (P275N)	137
7.8.5	Flammrichten der Segmente von Turbineneinläufen für Gezeitenkraftwerke aus H I (P235GH) und X 6 CrNiTi 18 10	138
7.8.6	Umformen dicker Bleche im Schiffbau	138
7.9	Flammrichten brenngeschnittener Stahlronden aus St 37-2 (S235JR) für Flansche von Druckwasser-Ventilkörpern	138
7.10	Feinrichten einer 7-m <sup>2</sup> -Stahlplatte aus St 52 (S355) für einen Pressentisch	139
7.11	Flammrichten an Bauteilen, an denen sich Schrumpfspannungen oder Verformungen in besonderer Weise auswirken	141
<b>8</b>	<b>Flammrichtbeispiele zum Beheben des Schweißverzugs</b>	<b>143</b>
8.1	Schweißverzug und Flammrichten	143
8.2	Bauteile und Tragwerke aus Rohren, Wellen und Profilen	143
8.2.1	Abzweigungen in Rohrleitungen	145
8.2.2	Flammrichten einer Folien-Profilierwalze aus X 6 CrNiTi 18 10	145
8.2.3	Flammrichten an Zylindern von Bugfahrwerken aus Vergütungsstahl	146
8.2.4	Flammrichten eines Rumpfrührgerüsts mit vier Flügelschlußbolzen räumlich genau auf 0,05 mm	147
8.2.5	Flammrichten geschweißter und gepanzelter Wellen	148
8.2.6	Stahlkonstruktion mit Doppel-T-Trägern (EP 28)	148
8.3	Flammrichten von geschweißten Blechkonstruktionen	148
8.3.1	Beheben von Krümmungen infolge Längs- oder Querschrumpfung	149
8.3.1.1	Längskrümmung eines Maschinenfundaments aus St 37 (S235)	149
8.3.1.2	Längskrümmung und Winkelverzug an Kastenständern aus St 37 (S235) mit Bodenplatten	149
8.3.1.3	Winkelverzug an den Befestigungsplatten eines Maschinenständers aus St 37 (S235)	150
8.3.1.4	Krümmung, Verwindung und Winkelverzug an hochbeanspruchten Bauteilen von	

	Autokranen aus StE 690 bis StE 960 (S690 bis S960) .....	150
8.3.1.5	Flammrichten eines Teleskoprohrs aus StE 960 (S960) für Autokrane .....	152
8.3.1.6	Krümmung und Verwindung an glatten und Buckelblech-Schwimmbrückenteilen aus AlZn4,5Mg1 (EN AW-AlZn4,5Mg1) .....	152
8.3.2	Beseitigen von Beulen .....	154
8.3.2.1	Vier Arbeitsweisen (1, 2, 3 und 4) .....	154
8.3.2.2	Berücksichtigung der Blechdicke und der Wärmeeinbringung durch die Wärmefigur. .	155
8.3.3	Beispiele für das Flammrichten von 1- bis 4-mm-Blechen nach Arbeitsweise 1, 2 oder 4 .....	156
8.3.3.1	Einziehen kleiner Beulen bei der Karosserieinstandsetzung .....	156
8.3.3.2	Flammrichten der Blechränder einer Rieseltasse aus X 6 CrNiTi 18 10 .....	157
8.3.3.3	Flammrichten öldichter Verkleidungen an Dieselmotoren .....	157
8.3.3.4	Flammrichten eines Färbetrogs aus X 6 CrNiTi 18 10 .....	158
8.3.3.5	Flammrichten von Reflektoren aus AlMgSi1 F28 (EN AW-AlSi1MgMn) an Muschel- und Ringantennen .....	158
8.3.4	Beispiele für das Flammrichten von 1- bis 4-mm-Blechen nach Arbeitsweise 3 .....	159
8.3.4.1	Kleine Lochplatte mit Bügel für geringen örtlichen Verzug .....	159
8.3.4.2	Lochplatten mit Gegenplatten zum Richten der Beblechung von Schienenfahrzeugen .	160
8.3.4.3	Flammrichten einer Beblechung mit Vakuumplatte .....	161
8.3.5	Beulen an Blechen und Blechkonstruktionen in Dicken von 4 bis 8 mm .....	161
8.3.5.1	Flammrichten eines konischen Tankbodenfeldes aus St 37 (S235) .....	162
8.3.5.2	Flammrichten eines ebenen Tankbodens aus St 37 (S235) .....	163
8.3.5.3	Flammrichten eines Behälters für drei Rührwerke aus X 6 CrNiTi 18 10 .....	163
8.3.5.4	Flammrichten eines geschweißten unsymmetrischen Blechträgers aus St 52 (S355) .	164
8.3.5.5	Flammrichten von Beblechungen mit Mehrdüsenbrennern .....	164
8.3.5.6	Sechzehn Arbeitsregeln für das Richten mit Mehrdüsenbrennern im Schiffbau .....	165
8.3.6	Beulen an Blechen und Blechkonstruktionen (Blechdicke größer als 8 mm) .....	172
8.3.6.1	Flammrichten geschweißter Ronden aus H I (P235GH) .....	172
8.3.6.2	Flammrichten von Radscheiben einer Reifenprüfmaschine aus H II (P265GH) .....	173
8.3.6.3	Flammrichten eines Doppelfensterflansches aus X6 CrNiTi 18 10 auf 0,05 mm Durchbiegung .....	176
8.3.6.4	Flammrichten der Rundung des Drehkranztopfes eines Autokrans aus StE 460 (S460) und StE 690 (S690) mit einem Dreidüsenbrenner .....	176
8.3.6.5	Flammrichten an Drehbühnengrundplatten für Kräne aus StE 690 (S690) mit Dreidüsenbrennern .....	177
8.3.6.6	Flammrichten mit Fünfdüsenbrennern im Schiffbau .....	177
8.3.7	Flammrichten einer Ölwanne mit Hilfe einer Teilauflage .....	178
8.3.8	Flammrichten feuerverzinkter Bauteile .....	179
8.3.9	Mechanisches Flammrichten während des Schweißens an Großrohren und Kranbahn- trägern .....	183
<b>9</b>	<b>Beispiele für das Flammrichten von Bauwerken</b> .....	<b>187</b>
9.1	Zu berücksichtigende Einflüsse .....	187
9.2	Beseitigen der doppelseitigen Krümmung eines geschweißten Pylons aus St 52 (S355) .....	187
9.3	Flammrichten der Hänger einer Rheinbrücke .....	189
9.4	Flammrichten eines 30-t-Laufkrans aus AlMg5 F24 (EN AW-AlMg5) .....	190

9.5	Flammrichten von Schiffsaufbauten .....	192
9.6	Flammrichten von Bauteilen unter Vorlast .....	192
9.7	Mehrmaliges Flammrichten von Bauteilen .....	192
9.8	Schrumpfungszugaben bei langen Bauteilen beim Schweißen und Flammrichten .....	192
<b>10</b>	<b>Flammrichtbeispiele zum Instandsetzen und Beheben von Schadensfällen in Verbindung mit anderen Verfahren .....</b>	<b>194</b>
10.1	Flammrichten und Warmumformen an dem Fahrgestell eines 16-t-Lastwagen- anhängers aus AlMgSi1 F32 (EN AW- $AlSi1MgMn$ ) .....	194
10.2	Flammrichten und Warmumformen zur Instandsetzung deformierter Pressensäulen aus St 52 (S355) .....	197
10.3	Flammrichten eines deformierten Mühlenläufers aus St 60 (E335) .....	200
10.4	Flammrichten an deformierten Zementkühlern aus St 37 (S235) .....	200
10.5	Flammrichten an einer Parkhausdecke in Stahlbetonkonstruktion .....	201
Schrifttum	.....	203