

Köstermann · Meißner · Sladek

Handbuch der Schienentechnik

**Werkstoffe,
Herstellung und Bearbeitung,
Qualitätssicherung**

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Geleitworte

1	Schienen	1
1.1	Allgemeines	1
1.1.1	Entwicklung und Überblick	1
1.1.2	Schiene als Teil des Systems Bahn	2
1.1.3	Aufgaben der Schiene	4
1.1.3.1	Schiene als Träger und Fahrbahn	4
1.1.3.2	Schiene als führendes Element	5
1.1.3.3	Schiene als Leiter von Signal- und Fahrströmen	6
1.2	Schienenstahl	6
1.2.1	Stahlherstellung	6
1.2.2	Besonderheiten des Schienenstahls	6
1.2.3	Beeinflussung der Eigenschaften der Schienenstähle	7
1.2.3.1	Einstellen der Festigkeit über die chemische Zusammensetzung	8
1.2.3.2	Festigkeitssteigerung über eine gezielt eingestellte Walztechnologie	8
1.2.3.3	Kopfhärtung	10
1.2.3.4	Reinheitsgrad	10
1.2.4	Gefüge des Schienenstahls	11
1.3	Schienenherstellung	12
1.3.1	Vergießen und Walzen	12
1.3.2	Wärmebehandlung des Schienenkopfes (Kopfhärtung)	13
1.3.3	Richten	14
1.3.4	Qualitätssicherung	15
1.3.4.1	Eigenüberwachung	15
1.3.4.2	Normen	15
1.3.4.3	Liefervorschriften	15
1.3.5	Zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) beim Schienenhersteller	16
1.3.5.1	Warmprofilvermessung	16
1.3.5.2	Geradheitsmessung	16
1.3.5.3	Wirbelstromprüfung	18
1.3.5.4	Kaltprofilvermessung	19
1.3.5.5	Automatische Oberflächenkontrolle	20
1.3.5.6	Ultraschallprüfung	20
1.3.5.7	Verdrillungsmessung	21
1.3.5.8	Geradheitsmessung der Enden	21
1.3.6	Zerstörende Prüfung	24
1.4	Schienenformen	25
1.4.1	Vignolschienen	26
1.4.2	Rillenschienen	26
1.4.3	Konstruktionsschienen	27
1.5	Verwendung und Beanspruchung von Schienen	27
1.5.1	Überschreiten der Dauerfestigkeit/Ermüdung	28

1.5.2	Beanspruchung im Rad-Schiene-Kontakt	28
1.5.3	Verschleiß	29
1.5.4	Rollkontaktermüdung	31
1.5.5	Umwelteinflüsse	32
1.5.5.1	Korrosion	33
1.5.5.2	Temperaturdehnung	33
1.6	Transport und Schienenlogistik	33
1.6.1	Rückblick	33
1.6.2	Lieferung der Schienen	34
1.6.3	Transport der Schienen	34
1.6.4	Transportmittel	36
1.6.5	Be- und Entladesysteme	37
1.6.6	Baustellenabwicklung	37
1.7	Schienenfehler	38
1.8	Schrifttum	40
2	Schienenschweißen	41
2.1	Allgemeines	41
2.1.1	Schweißverfahren	42
2.1.2	Wirtschaftlichkeit der Schweißverfahren	43
2.2	Abbrennstumpfschweißen (RA-Schweißen)	43
2.2.1	Allgemeines	43
2.2.2	Verfahrensablauf	44
2.2.3	RA-Schweißmaschinen	46
2.2.3.1	Stationäre Abbrennstumpfschweißmaschinen	46
2.2.3.2	Mobile Abbrennstumpfschweißmaschinen	47
2.2.4	Qualität der RA-Schweißungen	49
2.2.4.1	Schweißparameter	49
2.2.4.2	Beurteilung der RA-Schweißung	50
2.2.4.3	Formqualität der RA-Schweißung	51
2.2.5	Kosten und Wirtschaftlichkeit der RA-Schweißung	51
2.3	Aluminothermisches Gießschmelzschweißen (AS-Schweißen)	52
2.3.1	Entwicklung und Bedeutung	52
2.3.2	Chemisch-physikalische Grundlagen	53
2.3.2.1	Metallurgie der aluminothermischen Reaktion	53
2.3.2.2	Gießtechnologie	54
2.3.3	Einsatzstoffe	56
2.3.3.1	Thermit-Schweißportion	56
2.3.3.2	Gießform	58
2.3.3.3	Langzeit-Reaktionstiegel	58
2.3.4	Mechanisch-technologische Eigenschaften	59
2.3.5	Thermit-Schweißen	62
2.3.5.1	Prinzipieller Ablauf des aluminothermischen Schweißens	62
2.3.5.2	Unterscheidungskriterien für Thermit-Schweißverfahren	64
2.3.5.3	Kurzbeschreibung der THERMIT [®] -Schweißverfahren	66
2.3.5.4	Umfang der verfahrensspezifisch vorzugebenden Parameter	67
2.3.5.5	Schweißen kopfvergüteter Schienen	67
2.3.5.6	Geräte, Vorrichtungen und Maschinen	68
2.3.5.7	Schweißverfahren anderer Anbieter	68

2.4	Lichtbogenschweißen	70
2.4.1	Grundlagen	70
2.4.1.1	Schweißstromkreis	70
2.4.1.2	Lichtbogen	71
2.4.2	Schweißstromquellen	72
2.4.2.1	Schweißtransformatoren	73
2.4.2.2	Schweißgleichrichter	73
2.4.2.3	Schweißinverter (Schweißumrichter)	73
2.4.2.4	Schweißumformer	74
2.4.3	Lichtbogenschweißverfahren zum Schienenschweißen	75
2.4.3.1	Lichtbogenhandschweißen (E)	75
2.4.3.2	Metall-Schutzgasschweißen (MSG)	77
2.4.3.3	Fülldrahtschweißen mit selbstschützender Elektrode (MF)	78
2.4.3.4	Unterpulverschweißen (UP)	79
2.4.4	Lichtbogenschweißen im Gleis – Anwendungen	80
2.4.4.1	Schienenverbindungsschweißen	81
2.4.4.2	Schienenauftragschweißen	86
2.4.4.3	Schweißarbeiten an Rillenschienen	91
2.4.4.4	Ausfräsen und Beseitigen von Fehlern in Herzstücken	93
2.5	Brennschneiden, Flammrichten und Gasschmelzschweißen	94
2.5.1	Allgemeines	94
2.5.2	Brennschneiden	95
2.5.3	Flammrichten	95
2.5.4	Gasschmelzschweißen	97
2.6	Klebeverbindungen (Isolierstöße)	97
2.6.1	Allgemeines	97
2.6.2	S-Stoß (Schmidt-Stoß)	98
2.6.3	MT-Stoß (Montage-Thermit-Stoß)	98
2.6.4	IVG-Stoß (Isolierstoß-Verschleißarm-Gleis)	99
2.6.5	Schienenkopfvergüten bei Isolierstößen	100
2.7	Andere Verfahren	101
2.7.1	Gaspressschweißen	101
2.7.2	Induktionspressschweißen	102
2.7.3	Elektronenstrahlschweißen	102
2.7.4	Elektroschlackeschweißen	103
2.8	Qualitätsprüfung, Abnahme und Schweißfehler	103
2.8.1	Allgemeines zur Qualitätsprüfung	103
2.8.2	Abnahme von Schienenschweißungen	103
2.8.3	Geometrische Abnahme	104
2.8.3.1	Messmittel	104
2.8.3.2	Durchführung der Abnahmemessung	105
2.8.3.3	Abnahmekriterien	107
2.8.4	Bewertung der visuellen Prüfung	107
2.8.5	Prüfung auf innere Fehler	110
2.9	Geschweißte Teile	110
2.9.1	Weichengroßteile für Regelspurbahnen (DB AG, NE-Bahnen, Werkbahnen)	110
2.9.2	Weichenanlagen für den Nahverkehr (Rillenschienen-Konstruktionen)	110
2.9.2.1	Schweißtechnische Vergütung von Weichenanlagen	110

2.9.3	Schienauszugsvorrichtungen	111
2.9.4	Übergangsschienen	111
2.10	Schrifttum	113
3	Zerstörungsfreie Prüfung (ZfP)	114
3.1	Einführung	114
3.1.1	Prüfverfahren	114
3.1.1.1	Volumenprüfverfahren	114
3.1.1.2	Oberflächenprüfverfahren	115
3.1.2	Ziele der zerstörungsfreien Prüfung im Oberbau	115
3.1.3	Schienenfehler	116
3.2	Ultraschallprüfung (UT)	117
3.2.1	Allgemeines	117
3.2.1.1	Ultraschallprüfmethoden	117
3.2.1.2	Ultraschall-Prüfsystem	119
3.2.1.3	Verhalten von Schallwellen	121
3.2.1.3	Reflexionsverhalten an Unregelmäßigkeiten und Fehlergrößenbestimmung	123
3.2.2	Ultraschallprüfungen an Schienen und anderen Oberbauteilen	123
3.2.2.1	Prüfgegenstände und Prüfhäufigkeit im Oberbau	124
3.2.2.2	Klassifikation der Ultraschall-Schienenfehler	126
3.2.2.3	Prüfungen von Hand und mit Schienenprüfgeräten (SPG)	127
3.2.2.4	Schienenprüfzüge (SPZ)	130
3.2.3	Zusammenfassung	133
3.3	Sichtprüfung (VT)	133
3.3.1	Allgemeines	133
3.3.2	Werkzeuge für die Sichtprüfung	134
3.3.3	Anwendungsbereich der Sichtprüfung im Oberbau	134
3.3.4	Zusammenfassung	134
3.4	Wirbelstromprüfung (ET)	135
3.4.1	Allgemeines	135
3.4.2	Anwendungsbereiche	135
3.4.3	Rissprüfung	136
3.4.4	Anwendung im Oberbau	136
3.4.4.1	Head-Check-Prüfung	136
3.4.4.2	Zungenausfräsung	138
3.4.5	Zusammenfassung	138
3.5	Magnetpulverprüfung (MT)	139
3.5.1	Allgemeines	139
3.5.2	Prüfmittel	140
3.5.3	Grenzen des Verfahrens	141
3.5.4	Anwendungsgebiete	141
3.5.5	Zusammenfassung	141
3.6	Eindringprüfung (PT)	142
3.6.1	Allgemeines	142
3.6.2	Verfahrensschritte Farbeindringprüfung	142
3.6.3	Anwendungen	143
3.6.4	Zusammenfassung	143
3.7	Schrifttum	143

4	Schienenbearbeitung	144
4.1	Allgemeines	144
4.1.1	Begriffsbestimmung	144
4.1.2	Historie	144
4.2	Einsatzfelder der Schienenbearbeitung	145
4.2.1	Neuschienenbearbeitung	145
4.2.2	Beseitigung von Fahrflächenunebenheiten	146
4.2.3	Vorbeugung und Beseitigung von Rollkontaktermüdung	149
4.2.4	Beseitigung von Spurverengungen und Wiederherstellung des Querprofils	149
4.2.5	Herstellung von Sonderprofilen (asymmetrische Profile)	150
4.2.6	Lärmsanierung und Lärmvorsorge (Besonders überwachtes Gleis)	152
4.2.7	Stationäre Schienenbearbeitung	152
4.3	Arbeitsverfahren der Schienenbearbeitung	154
4.3.1	Überblick	154
4.3.2	Schleifen	155
4.3.3	Hobeln	160
4.3.4	Fräsen	161
4.3.5	Hochgeschwindigkeitsschleifen	162
4.4	Planung, Durchführung und Abnahme der Schienenbearbeitung	163
4.4.1	Planung der Schienenbearbeitung	163
4.4.2	Durchführung der Schienenbearbeitung	169
4.4.3	Abnahme der Schienenbearbeitung	172
4.4.4	Kosten und Nutzen der Schienenbearbeitung	173
4.5	Schrifttum	176
5	Schienenspannungsausgleich, Herstellung Lückenloser Gleise und Weichen	178
5.1	Das Lückenlose Gleis	178
5.1.1	Beschreibung	178
5.1.2	Definition	178
5.1.3	Historie	178
5.1.4	Wirtschaftlichkeit	179
5.1.5	Betrachtungsweise	179
5.2	Kräfte im Gleis und Lagestabilität	180
5.2.1	Temperaturlängskräfte	180
5.2.2	Gleislagestabilität – Begriffe	181
5.2.2.1	Querverschiebewiderstand	181
5.2.2.2	Rahmensteifigkeit	182
5.2.2.3	Durchschubwiderstand	182
5.2.2.4	Längsverschiebewiderstand	183
5.2.3	Gleislagefehler und Schienenbrüche aus Temperaturlängskräften	183
5.2.3.1	Gleisverdrückung	183
5.2.3.2	Gleisverschiebung	183
5.2.3.3	Gleisverwerfung	184
5.2.3.4	Schienenbrüche	184
5.3	Grundsätze zum Spannungsausgleich	184
5.3.1	Begriffe	184
5.3.1.1	Schientemperaturen	184
5.3.1.2	Spannungsausgleich	184
5.3.2	Beschreibung des Spannungsausgleiches – Ablauf und Verfahren	185
5.3.2.1	Lösen der Schienenbefestigungsmittel und Entspannen der Schiene	185

5.3.2.2	Ermitteln von Ausgangstemperatur, Verspanntemperatur und Längenänderung	186
5.3.2.3	Längen der Schienen	187
5.3.2.4	Verspannen der Schienenbefestigung	188
5.3.2.5	Ausführung der Schlusschweißung	189
5.3.3	Fachbauleitung, Bauüberwachung und Niederschriften über den Spannungsausgleich	189
5.3.3.1	Fachbauleitung (Fbaul SpA) und Bauüberwacher Schienentechnik (SÜ)	189
5.3.3.2	Niederschrift zum Spannungsausgleich	190
5.4	Lückenlose Gleise herstellen	190
5.4.1	Liefen, Entladen und Verlegen der Schienen vor dem Spannungsausgleich	190
5.4.2	Voraussetzungen für den Spannungsausgleich	191
5.4.3	Durchführung des Spannungsausgleichs mit Schienen bis $L \leq 180$ m	191
5.4.3.1	Baustellenablauf	191
5.4.3.2	Leistung (Personal-, Maschinen- und Gerätebedarf)	193
5.4.4	Durchführung des Spannungsausgleichs mit Schienen $L > 180$ m	193
5.4.5	Einsatz der mobilen Abbreinstumpfschweißmaschine RA-mobil	193
5.4.5.1	Baustellenablauf	193
5.4.5.2	Leistung (Personal-, Maschinen- und Gerätebedarf)	194
5.4.6	Besonderheiten	195
5.4.7	Innerstädtischer Nahverkehr mit eingedeckten Gleisanlagen (geschlossener Oberbau)	199
5.4.8	Niederschrift	200
5.5	Lückenlose Weichen herstellen	200
5.5.1	Voraussetzung	200
5.5.2	Montage und Einbau der Weichen	200
5.5.3	Durchführung der Schweißarbeiten und des Spannungsausgleichs	200
5.5.4	Besonderheiten	202
5.5.5	Niederschrift	202
5.6	Wiederherstellen des alten Spannungszustandes	203
5.6.1	Grundlagen	203
5.6.2	Voraussetzung	203
5.6.3	Durchführung	203
5.6.4	Niederschrift	204
5.7	Instandhaltung und Arbeiten am Lückenlosen Gleis	204
5.7.1	Arbeiten am Lückenlosen Gleis	204
5.7.1.1	Grundsatz	204
5.7.1.2	Veränderung der Gleislage bei Stopfarbeiten	206
5.7.1.3	Teilweises Lösen der Schienenbefestigung	206
5.7.1.4	Grenztemperaturen	206
5.7.2	Trennen des Lückenlosen Gleises	207
5.7.2.1	Grundsatz	207
5.7.2.2	Durchführung	207
5.8	Nachträgliche Kontrolle des Lückenlosen Gleises	208
5.8.1	Grundsatz	208
5.8.2	Gleise der ehemaligen Deutschen Reichsbahn (DR)	208
5.8.3	Bergsenkungsgebiete	208
5.8.4	Spannung und Verspanntemperatur nachträglich feststellen	209
5.8.4.1	Feststellen der Verspanntemperatur durch Trennen des Gleises	209
5.8.4.2	Feststellen der Verspanntemperatur mit dem Messgerät RailScan	209
5.8.4.3	Feststellen der Verspanntemperatur mit dem Messgerät VERSE	210
5.9	Zusammenfassung	210
5.10	Schrifttum	210

6	Qualitätssicherung – Zulassung der Betriebe und Ausbildung des Fachpersonals	212
6.1	Zulassung der Betriebe	212
6.1.1	Allgemeines	212
6.1.2	Anerkannte Stelle	213
6.1.3	Aufgaben, Tätigkeiten und Verantwortlichkeiten	214
6.1.4	Darstellung der Qualitätssicherung in der Oberbauschweißtechnik	215
6.1.5	Zugelassene Firma/Betrieb	217
6.1.5.1	DB Netz AG	217
6.1.5.2	Bahnen des Öffentlichen Personen-Nahverkehrs (ÖPNV) und Nichtbundeseigene Eisenbahnen (NE-Bahnen)	219
6.1.6	Eisenbahnaufsicht der Länder	220
6.2	Aus- und Weiterbildung des Fachpersonals	220
6.2.1	Allgemeines	220
6.2.2	Fachtheoretische Ausbildung von Überwachungs- und Aufsichtspersonal	221
6.2.3	Fachpraktische Ausbildung der Schweißer	223
6.2.3.1	Schienenverbindungsschweißen	224
6.2.3.2	Schienenauftragschweißen	225
6.2.4	Erstausbildung und Wiederholungsprüfungen der Schweißer	226
6.2.5	Regelmäßige Fortbildung	227
6.3	Schrifttum	227
Anhang	228
	Auswahl von Normen, Regelwerken und Richtlinien für den Bereich der Schienentechnik	228
Sachwortverzeichnis	234