

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einführung .....</b>	<b>13</b>
1.1	Veränderte Rahmenbedingungen für Eisenbahnunternehmen .....	13
1.2	Strategien für Fahrleitungsanlagen.....	13
1.3	Innovation durch komplexe Maschinentechnologie .....	14
1.4	„Arbeitsverfahren zur mechanisierten Oberleitungsmontage“ nach UIC-Merkblatt 793 E .....	16
<b>2</b>	<b>Fahrleitungsmontage .....</b>	<b>17</b>
2.1	Grundsätze.....	17
2.2	Arbeitsvorbereitung für die Fahrleitungsmontage .....	19
2.3	Manuelle Arbeitsverfahren .....	20
2.3.1	Manuelle Demontage einer Fahrleitungskette .....	20
2.3.2	Manuelle Montage einer Fahrleitungskette .....	20
2.4	Maschinell unterstützte Montagetechnik für Fahrleitungsanlagen .....	22
2.5	Arbeitsschritte und Aufgaben bei einer Fahrleitungsmontage.....	28
<b>3</b>	<b>Fahrleitungsmontagemethoden.....</b>	<b>35</b>
3.1	Vorteile und Einsparungspositionen durch moderne Arbeitsverfahren mit Fahrleitungsbauzügen .....	35
3.2	Strukturelle Maßnahmen .....	37
3.3	Beispiel für konkrete Restrukturierungsmaßnahmen.....	37
3.4	Wettbewerbsfähige Kostenstrukturen .....	39
3.5	Multifunktionelle Teams für mechanisierte Arbeitsverfahren.....	39
<b>4</b>	<b>Einsparungspotenziale bei verschiedenen Arbeitsverfahren .....</b>	<b>41</b>
4.1	Ressourcenaufwand bei mechanisierten Arbeitsverfahren .....	41
4.2	Ressourcenaufwand bei herkömmlichen Arbeitsverfahren.....	42

<b>5</b>	<b>Bewährte Fahrzeugkonzepte für mechanisierte Fahrleitungsdemontage- und Montageverfahren .....</b>	<b>43</b>
5.1	Nachspannlänge (Sektionslänge) .....	43
5.2	Prinzipdarstellungen von Fahrleitungs-Arbeitsfahrzeugen .....	43
5.2.1	Montageturmwagen (MGW, leichte, zweiachsige Maschine).....	43
5.2.2	Motorturmwagen (MTW, universelle, leistungsfähige Drehgestellmaschine).....	44
5.2.3	Fahrleitungs-Windenwagen (FWW, gezogen oder mit Eigenantrieb) .....	45
5.2.4	Fahrleitungs-Installationsmaschine (FUM, Grundkonzept mit Eigenantrieb, alternativ auch als Containerlösung mit Zug-TFZ) .....	46
5.2.5	Arbeitsbühnenwagen (AW, zweiachsig, mit Eigenantrieb, (gezogen), Hubarbeitsbühne oder Plattform, Kran) .....	46
5.3	Beispiel 1 – Demontage der Fahrleitungskette .....	47
5.4	Beispiel 2 – Montage der Fahrleitungskette.....	49
5.5	Beispiel 3 – Montage der Verstärkungs- und Rückstromleiterseile .....	51
5.6	Beispiel 4 – Fahrdrahtwechsel .....	52
5.7	Beispiel 5 – Start des Montagevorgangs an der Fahrleitungs-Installationsmaschine .....	54
<b>6</b>	<b>Montage- und Regulierungsbeispiele zu spezifischen Fahrleitungskomponenten .....</b>	<b>55</b>
6.1	Grundlagen .....	55
6.2	Fahrleitungskette.....	55
6.3	Fundamente, Fundierung .....	55
6.4	Maste, Maststellen .....	57
6.5	Stützpunkte.....	58
6.6	Regulierung der Rohrschwenkausleger und Seitenhalter .....	60
6.7	Fahrdraht- und Tragseilfestpunkte.....	61
6.8	Ausführung und Montage elektrischer und mechanischer Trennstellen im Fahrleitungsnetz .....	62
6.8.1	Sektionstrennung.....	63
6.8.2	Bahnhof-Streckentrennungen .....	63
6.8.3	Ausführung von Systemtrennstellen .....	65

6.9	<b>Einstellung von Streckentrennern</b> .....	65
6.10	<b>Einbau und Regulierung von Weichen in Fahrleitungssystemen</b> .....	66
6.11	<b>Montage von Stromschienen</b> .....	68
6.12	<b>Einstellung der Nachspannvorrichtungen (Radspannwerke)</b> .....	70
6.13	<b>Strombelastbarkeit</b> .....	72
6.14	<b>Hänger zwischen Fahrdräht und Tragseil</b> .....	73
6.15	<b>Elektrische Verbinder (Stromausgleichsverbinder)</b> .....	73
6.16	<b>Fahrdrähtanhub am Stützpunkt</b> .....	74
6.17	<b>Stützpunktbaugruppen – Infrastrukturlichtraum</b> .....	74
6.18	<b>Fahrdräthöhe über SOK</b> .....	74
6.19	<b>Querseilfelder</b> .....	75
<b>7</b>	<b>Fahrleitungs-Arbeitsmaschinen</b> .....	<b>77</b>
<b>7.1</b>	<b>Konzepte und Technik</b> .....	<b>77</b>
7.1.1	Strategien .....	78
7.1.2	Manuelle Montageverfahren .....	79
7.1.3	Mechanisierte Arbeitsverfahren (Fließband-Verlegetechnik).....	80
7.1.4	Konzepte .....	80
<b>7.2</b>	<b>Sicherheitstechnische Anforderungen an Fahrleitungs-Installationsmaschinen (FUM)</b> .....	<b>81</b>
7.2.1	Zielsetzungen der Maschinen- und Montagetechnik.....	81
7.2.2	Verwendete Maschinenkonzepte bei Fahrleitungs-Installationsmaschinen .....	83
7.2.3	Zugkraftsteuerung bei kontinuierlichen Montageverfahren .....	84
7.2.4	FUM mit ümfassender Arbeits- und Maschinentechnologie .....	85
7.2.5	FUM mit alternativer Technologie zur Zugkraftsteuerung .....	89
7.2.6	Beispiele für modifizierte Maschinentechnologien.....	91
7.2.7	Beispiel – FUM mit einfacherer Maschinentechnologie für kleinere Zugkräfte .....	95
7.2.8	Beispiel – Montagetechnik mit einer nachträglichen Zugkrafterhöhung .....	96
7.2.9	Weitere Funktionen und Hinweise zur FUM-Technologie .....	98
7.2.10	Beispiel – Messung der Zugkraft in den Windensystemen.....	99
7.2.11	Längenänderung und Feinwelligkeit im Montageprozess.....	99
<b>7.3</b>	<b>Fahrleitungs-Montagemaschinen (MTW)</b> .....	<b>101</b>
7.3.1	Kategorien von Fahrleitungs-Montagemaschinen .....	104
7.3.2	Arbeitstechnische Anforderungen an Fahrleitungs-Arbeitsmaschinen .....	109

7.3.3	Sicherheitstechnische Optionen je nach Verwendung und Funktionalität .....	112
7.3.4	Beispiele für Hebehilfen.....	113
7.3.5	Beispiel für eine Maschinentechnologie für das Verlegen von Stromschienen .....	115
7.4	<b>Alternative Motortechnologien für Antrieb und Arbeitskomponenten .....</b>	<b>116</b>
<b>8</b>	<b>Mitarbeiterbedarf, Personalstunden und Arbeitszeiten.....</b>	<b>119</b>
8.1	Erneuerung von 1 km Fahrleitungskette.....	119
8.2	Fahrdrahtwechsel von 1 km Fahrleitung .....	119
<b>9</b>	<b>Kostenstrukturen bei Fahrleitungs-Montageverfahren.....</b>	<b>121</b>
9.1	Einsatzplanung .....	121
9.2	Bandbreite – weitere Abhängigkeiten.....	121
9.3	Annahmen für einen Vergleich der Gesamtkosten.....	121
9.4	Weitere Einflussfaktoren.....	122
<b>10</b>	<b>Qualitätsüberwachung mit Messverfahren .....</b>	<b>125</b>
10.1	Zielsetzung.....	125
10.2	Messaufgaben .....	125
10.3	Sicherstellung der Anlagenverfügbarkeit von Fahrleitungen durch ständiges Monitoring .....	126
10.4	<b>Messmethoden .....</b>	<b>128</b>
10.4.1	Fahrleitungsinspektion mit adaptierten Stromabnehmern .....	128
10.4.2	Fahrleitungsinspektion mit berührungslosen Messverfahren (FD-Höhenlage und -Seitenlage) .....	130
10.4.3	Messung der Fahrdrahtstärke und des Verschleißes .....	131
10.4.4	Kontaktkraftmesssysteme.....	133
10.4.5	Verortung .....	134
10.4.6	Videoinspektionssysteme.....	135
10.4.7	Schleifleistenüberwachung.....	135
10.4.8	Messgenauigkeit – Messtoleranzbereiche .....	136
10.4.9	Fernwartung, Digitalisierung .....	137
10.4.10	Darstellung der Messergebnisse .....	137
10.4.11	Bezug zu Messungen der Infrastruktur – Gleislage .....	137

<b>10.5</b>	<b>Weitere Beispiele .....</b>	<b>138</b>
10.5.1	Kontrolle des Fahrdrahtanhubs .....	138
10.5.2	Fahrdrahtanhubmessung mit Seilzug und Potentiometer.....	139
10.5.3	Fahrdrahtanhubmessung mittels Videoaufzeichnung.....	140
10.5.4	Beobachtung des Fahrdratverschleißes .....	141
10.5.5	Kontrollen an Nachspannvorrrichtungen.....	141
10.5.6	Visuelle Kontrolle der Anlageteile .....	142
10.5.7	Fahrleitungs-Messtechnik – Vorgaben aus den Normen.....	143
10.5.8	Kennwerte und Zusammenhänge nach EN 50119 .....	143
10.5.9	Kennwerte und Zusammenhänge nach EN 50149.....	144
10.5.10	Kennwerte und Zusammenhänge nach EN 50367 .....	144
10.5.11	Kennwerte und Zusammenhänge nach EN 50317 .....	145
10.5.12	Kennwerte und Zusammenhänge nach EN 50318.....	145
10.5.13	Kennwerte und Zusammenhänge nach EN 50388 .....	146
<b>11</b>	<b>Systemweiterentwicklung für die Montagetechnologie mit Fahrleitungs-Installationsmaschinen.....</b>	<b>147</b>
11.1	<b>Einleitung .....</b>	<b>147</b>
11.2	<b>Materialparameter der Fahrdrähte.....</b>	<b>148</b>
11.3	<b>Mögliche Ursachen von Fahrdrahtwelligkeit bei der Montage und Fertigung.....</b>	<b>149</b>
11.3.1	Eingeprägte Verzerrungen und Krümmungen während des Herstellungsprozesses ...	149
11.3.2	Lokale Instabilitäten während des Aufwickelns auf die Fahrdrahttrommel .....	149
11.3.3	Während des Abwickelvorganges induzierte Imperfektionen .....	150
11.3.4	Bleibende vertikale Deformationen nach dem Abtrommeln und Verlegen .....	150
11.4	<b>Mechanische Modellierung des elasto-plastischen Fahrdrähts.....</b>	<b>150</b>
11.4.1	Vollständig elastischer Zustand .....	150
11.4.2	Einseitig plastischer Zustand .....	151
11.4.3	Zweiseitig plastischer Zustand .....	151
11.4.4	Vollplastischer Zustand .....	152
11.5	<b>Simulation an einem konkreten Maschinenkonzept .....</b>	<b>152</b>
11.5.1	Normalkräfte .....	153
11.5.2	Chronologischer Ablauf der Drahtverlegung mit Hilfe FUM .....	154
11.6	<b>Reibwertmessungen.....</b>	<b>157</b>
11.7	<b>Kriechverhalten – Kriechprüfungen .....</b>	<b>158</b>
11.8	<b>Längenänderung des Rillenfahrdrähtes AC-150 mm<sup>2</sup> .....</b>	<b>161</b>
11.9	<b>Schlussfolgerung .....</b>	<b>162</b>

<b>12</b>	<b>Traktionsmechanik für Fahrleitungs-Arbeitsmaschinen .....</b>	<b>163</b>
12.1	Systemrelevante Kennwerte für Fahrleitungen auf Hochgeschwindigkeits- und Hochleistungsstrecken .....	164
12.2	Nennzugkräfte von neuen Fahrleitungssystemen.....	164
12.3	Fahrzeuggewichte von selbstfahrenden Montagemaschinen.....	165
12.4	Fahrzeuggewichte von Triebfahrzeugen für gezogene Fahrleitungsmontageeinheiten.....	165
12.5	Abschätzung der notwendigen Zugkräfte .....	165
12.6	Berechnung der Antriebsleistung .....	167
12.7	Analyse und Ergebnis.....	168
12.8	Abschätzung der erforderlichen Anfahr- und Montagezugkraft beim Montagevorgang mit gezogenen Fahrleitungsmontageeinheiten.....	168
12.9	Notwendige Zugkräfte beim Montagevorgang für selbstfahrende Zweiwegefahrzeuge .....	168
<b>13</b>	<b>Elektrotechnische Personen- und Arbeitssicherheit .....</b>	<b>169</b>
13.1	Grundlagen .....	169
13.2	Elektrotechnische Personensicherheit .....	170
13.2.1	Einsatz von Arbeits-/Baumaschinen auf elektrisch betriebenen Strecken .....	173
13.2.2	Gefahrensituation bei gerissenen Hochspannungsleitungen .....	174
13.3	Technik der Rückstromführung.....	175
13.4	Erdungsmaßnahmen an FUM und MTW .....	179
<b>14</b>	<b>Sicherheitsanforderungen für Arbeiten in Fahrleitungsbereichen.....</b>	<b>185</b>
14.1	Sicherheitsmaßnahmen an Fahrleitungsmaschinen .....	185
14.2	Sicherheitstechnische Anforderungen in den Normen .....	189
14.3	Beispiele – Begrenzung des seitlichen Arbeitsbereichs (Gegengleissperre)...189	

<b>15</b>	<b>Technologie der Instandhaltung und Anlagenkontrolle .....</b>	<b>193</b>
<b>15.1</b>	<b>Tätigkeiten und Zeitvorgaben .....</b>	<b>194</b>
15.1.1	Beispiel – Nettoarbeitszeiten für Kontrolltätigkeiten.....	195
15.1.2	Tätigkeiten bei zustandsorientierten Instandhaltungskonzepten.....	195
15.1.3	Einflüsse auf Instandhaltungskosten.....	196
15.1.4	Struktur von Instandhaltungs- und Interventionszentren – Rationalisierungsthematik.....	197
15.1.5	Beispiel – Inhaltliche/Organisatorische Ausrichtung .....	200
<b>15.2</b>	<b>Auszüge aus der TSI Energie zur Instandhaltung der Fahrleitung .....</b>	<b>202</b>
<b>15.3</b>	<b>Auszüge aus der EN 50119 zur Instandhaltung der Fahrleitung .....</b>	<b>202</b>
	<b>Quellenverzeichnis .....</b>	<b>203</b>
	<b>Normen und Regelwerke .....</b>	<b>206</b>
	<b>Stichwortverzeichnis .....</b>	<b>208</b>
	<b>Inserentenverzeichnis .....</b>	<b>212</b>
	<b>Der Autor.....</b>	<b>213</b>