

Die Eisenbahnschiene

Theoretische und
praktische Hinweise zur
Beanspruchung, Werkstoff-
beschaffenheit, Profilwahl,
Verschweißung und
Behandlung in Gleis
und Werkstatt

Herausgegeben von Dipl.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Fritz Fastenrath



1977

VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN
BERLIN · MÜNCHEN · DÜSSELDORF

Inhaltverzeichnis

Autoren.	V
Geleitwort	VII
Vorwort	IX
Teil I	
Der Oberbau – wesentliches Element der Eisenbahn.	1
Teil II	
Die Schiene als Träger und Fahrbahn – theoretische Grundlagen und praktische Beispiele	9
1. Einleitung	9
2. Schienenprofile und technische Lieferbedingungen	11
3. Schiene als Träger	12
3.1 Bettungszahltheorie	12
3.2 Biegespannung und Einsenkung	19
3.3 Störspannungen	26
3.4 Horizontale Biegelinie	30
3.5 Bestimmung der Bettungszahl	31
3.6 Temperaturspannungen	33
3.7 Gestaltfestigkeit	36
3.8 Zulässige Achslast	39
3.9 Hypothese von Miner.	41
4. Schiene als Fahrbahn	42
4.1 Schienenkopf und Radprofil	42
4.2 Schienenkopfbeanspruchung	43
4.3 Zulässige Achslast bzw. minimaler Radhalbmesser	48
5. Zulässige Achslast – Oberbaukonstruktion.	52
6. Lagestabilität	55
6.1 Grundsätzliches.	55
6.2 Theorie der Gleisverwerfung	58
6.3 Weichen.	61
7. Schwingungsverhalten der Schiene	62
Schrifttum.	68
Zusammenfassung	70
Summary.	71

List of figures	73
List of tables	74
Anlagen	74
Résumé	75
Liste des figures	76
Liste des tableaux	78
Anlagen	78

Teil III

Fahrzeug und Gleis – Erkenntnisse und Überlegungen im Hinblick auf Kraftwirkungen, Verschleiß und Entgleisungssicherheit	79
1. Einleitung	79
2. Kräfte zwischen Radsatz und Gleis	79
2.1 Entstehung der Spurführungskräfte	79
2.2 Zusätzliche Querkräfte	81
2.3 Definition der Kräfte zwischen Radsatz und Gleis	82
2.4 Einfluß der Laufwerksbauart auf die Kraftgröße	85
3. Horizontaler Verschleiß an Rad und Schiene	91
4. Bemerkungen zur Entgleisungssicherheit	93
5. Spurführung im Herzstückbereich von Weichen und Kreuzungen	95
6. Schlußbemerkung	101
Schrifttum	101
Zusammenfassung	102
Summary	102
List of figures	103
Résumé	103
Liste des figures	104

Teil IV

Herstellung, Eigenschaften und Betriebsverhalten von Schienenstählen	105
1. Aufgabe der Schiene	105
2. Schienenprofile und -güten	105
2.1 Schienenprofile	105
2.2 Schienengüten	107
3. Herstellung von Schienen	109
3.1 Erschmelzen und Vergießen	109
3.2 Walzen der Schienen	111
4. Anforderungen an die Schiene	114
5. Eigenschaften der Schiene	115
5.1 Gefüge und mechanische Eigenschaften der Schienenstähle	115
5.2 Verschleißverhalten der Schienenstähle	120
5.3 Gestaltfestigkeit der Schienen	122
5.4 Schweißbeignung der Schienenstähle	123
6. Einsatz und Betriebsverhalten von Schienenstählen	124

Schrifttum	126
Zusammenfassung	127
Summary	127
List of figures	128
Résumé	128
Liste des figures	129

Teil V

Qualitätssicherung und Abnahme der Schienen	131
1. Qualitätssicherung bei der Herstellung von Schienen im Hüttenwerk	131
2. Technische Lieferbedingungen für Schienen mit internationaler Bedeutung	134
3. Abnahme von Schienen	136
4. Kennzeichnung der Schienen	143
Zusammenfassung	147
Summary	148
List of figures	150
Résumé	151
Liste des figures	152

Teil VI

Erfahrungen mit Schienenstählen für hochbeanspruchte Gleise	155
1. Topographische Gegebenheiten und Linienführungen auf dem Netz der Schweizerischen Bundesbahnen.	155
2. Auswirkungen betriebsbedingter Belastungen auf die Schienen.	156
2.1 Eingeleitete Versuche und Forschungsergebnisse	157
2.2 Einsatz und Bewährung verschleißfester Stahlgüten	158
3. Auswirkungen erhöhter Beförderungsleistungen auf das Gleis von Gebirgsbahnen	160
3.1 Kräftewirkungen im Bereich Rad/Schiene	160
3.2 Anforderungen an Schienenstähle	161
4. Entwicklung geeigneter Schienen für schwerbelastete Gleise und Gebirgsbahnen	165
4.1 Einführung von Sonderstahlgüten	166
4.2 Eigenschaften von Cr-Mn-Stahlschienen	167
4.3 Gewährleistung der Stahlgüten	173
4.4 Schweißbarkeit	174
5. Verwendung von Sonderstahlgüten	175
5.1 Einsatz von Schienen und Stahlgüten im Streckengleis	178
5.2 Einsatz von Schienenstählen in stark belasteten Weichen.	179
Schrifttum	179
Bildnachweis	180
Zusammenfassung	180
Summary	180

List of figures	181
Résumé	182
Liste des figures	182

Teil VII

Herstellung und Unterhaltung des lückenlosen Gleises	185
1. Die Bedeutung des lückenlosen Gleises	185
2. Die Herstellung des lückenlosen Gleises	189
2.1 Die Abbrennstumpfschweißung	189
2.1.1 Voraussetzungen	189
2.1.2 Der Arbeitsablauf in einem Schienenschweißwerk	189
2.1.3 Die Schweißmaschine	190
2.1.4 Nacharbeiten der Schweißung und Abnahme	194
2.1.5 Güteprüfung	194
2.1.6 Schweißfehler	198
2.1.7 Schweißauftrag	204
2.2 Die aluminothermische Schweißung	204
2.2.1 Voraussetzungen	204
2.2.2 Technische Einzelheiten des Thermit-Schnellschweißverfahrens mit Kurzvorwärmung (SkV)	205
2.2.3 Der Arbeitsablauf an der Einbaustelle	209
2.2.4 Güteprüfung	210
2.2.4.1 Allgemeines	210
2.2.4.2 Dauerschwingversuche	211
2.2.4.3 Härteverlauf	212
2.2.4.4 Chemische Analyse	213
2.2.4.5 Gefügeuntersuchung	213
2.2.5 Die Herstellung aluminothermischer Schweißungen auf der Baustelle	215
2.2.5.1 Das Schweißen von Gleisschienen	215
2.2.5.2 Das Schweißen von Weichen	222
2.3 Das Lichtbogen-Schweißverfahren	223
2.3.1 Anwendungsbereich	223
2.3.2 Elektroden	223
2.3.3 Geräte für die Lichtbogenschweißung	224
2.3.4 Schienen-Verbindungsschweißungen	225
2.4 Isolierstöße	229
2.4.1 Vorbemerkungen	229
2.4.2 Die Isolierklebestoßverbindung S	230
2.4.3 Die Isolierstahllaschen-Stoßverbindung MT	231
2.5 Die Anwendung von Schienenausügen und die längsverschiebliche Lagerung von Schienen	235
2.6 Abbrennstumpfschweißen im Gleis	238
3. Die Unterhaltung durchgehend geschweißter Gleise	238
3.1 Die Gleisvermarkung	238
3.2 Ausführung von Bauarbeiten in durchgehend geschweißten Gleisen	240
3.3 Beseitigung von Schienenbrüchen	241
4. Ausblick	241
4.1 Fehlerforschung	241
4.2 Schulung	244
4.3 Entwicklungstendenzen	244

Bildnachweis	245
Zusammenfassung	245
Summary	246
List of figures	247
List of tables	248
Index	248
Résumé	248
Liste des figures	249
Liste des tableaux	250
Index	250

Teil VIII

Schienenfehler aus der Betriebsbeanspruchung und ihre Auswirkungen

1. Schienenfehler aus Herstellung und Betriebsbeanspruchung	251
2. Riffeln als internationales Phänomen	256
2.1 Dokumentation über Schienenriffeln	257
2.2 Stand der Forschung	260
2.2.1 Einleitung	260
2.2.2 Erforschung des Einflusses von Oberbau-, Linienführungs- und Betriebseinflüssen (Bremsabschnitte) in einem Schnellfahrgeleis	264
2.2.3 Weiterführung der Statistik der DB bei Schienen S 54 und UIC 60 der vier Walzjahre 1970 bis 1973	267
2.2.4 Untersuchungen an Gleis und Rad zur Ermittlung von Schwingungs- eigenschaften und Dämpfung	270
2.2.5 Einbau neuer Theorien in ein Fahrzeug-Gleis-Modell unter Berück- sichtigung der neuesten Untersuchungsverfahren	270
3. Wellen	271
3.1 Dokumentation über Wellen	272
3.2 Entstehungsursache der Wellen	275
4. Abhilfemaßnahmen	275
4.1 Entwicklung der Schleifverfahren	275
4.2 Wiederauftreten von Riffeln nach dem Schleifen	278
4.3 Versuche mit Abschleif neu verlegter Schienen vor Inbetriebnahme	278
4.4 Ausblick	280
Schrifttum	281
Zusammenfassung	282
Summary	283
List of figures	283
List of tables	285
Résumé	285
Liste des figures	286
Liste des tableaux	288

Teil IX

Riffel- und Wellenmessung zur Qualitätskontrolle und Bestimmung des wirtschaftlichen Zeitpunktes für das Schleifen von Schienen

1. Einführung	289
-------------------------	-----

2.	Meßverfahren	290
2.1	Stationäre Meßverfahren	290
2.1.1	Messung mit dem Stahllineal	290
2.1.2	Das Fahrspiegel-Verschleiß-Meßgerät Dr. Posch	290
2.1.3	Cemafer-Gerät	291
2.1.4	Meßgeräte der British Railways	292
2.2	Meßverfahren von Fahrzeugen aus	292
2.2.1	Meßgerät der SNCF	292
2.2.2	Meßeinrichtung des Gleismeßwagens der ÖBB	292
2.2.3	Meßfahrzeug der Fa. Speno	292
3.	Aussagekraft der Meßergebnisse in bezug auf die Qualitätskontrolle der Schienenoberfläche.	294
3.1	Riffeln	294
3.2	Wellen	295
3.3	Schweißungen	297
4.	Schienenbehandlung durch Schienenschleifung	299
4.1	Bedeutung der Schienenschleifung und Reprofilierung der Schiene	299
4.2	Wirtschaftlichkeitsüberlegungen	303
5.	Ausblick	304
	Schrifttum	305
	Zusammenfassung	305
	Summary	305
	List of figures	305
	Résumé	306
	Liste des figures	306

Teil X

	Schienenbefestigungen – Aufgabe, Beurteilungskriterien, technische Lösungen	309
1.	Einführung	309
2.	Art und Größe der wirkenden Kräfte.	309
3.	Aufgabe der Schienenbefestigung	310
4.	Beurteilungskriterien	311
4.1	Scherenhebelschwingversuch	312
4.2	Durchschubwiderstandsversuch	313
4.3	Verdrehwiderstandsversuch	314
4.4	Rahmensteifigkeitsversuch	315
4.5	Ermittlung der Federcharakteristik	315
5.	Technische Lösungen	316
5.1	K-Befestigung auf Holzschwellen	316
5.2	K-Befestigung mit Spannklemmen Skl 2 und Skl 3 auf Holzschwellen	317
5.3	W-Befestigung mit Spannklemme Skl 1 auf Betonschwellen	319
5.4	Befestigung mit Federnagel Dna 4 auf Holzschwellen	319
6.	Befestigung mit Spannklemme Skl 4 und Spannbügel Sbü 8 auf schotterlosem Oberbau	320

7.	Auswahlkriterien	322
	Schrifttum	322
	Zusammenfassung	322
	Summary	322
	List of figures	323
	Résumé	323
	Liste des figures	323

Teil XI

Moderne Weichengestaltung 325

1.	Einführung	325
2.	Fahrdynamik in Weichen	325
2.1	Fahrkanten-Geometrie	327
2.2	Zungenvorrichtung	328
2.3	Starres Herzstück	329
2.4	Radlenker	329
2.5	Herzstücke ohne Fahrflächenunterbrechung	330
3.	Beanspruchung der Weiche insgesamt und einzelner Weichenteile	330
4.	Folgerungen für die Weichenkonstruktion	331
4.1	Geometrie, Spurweite, Schwellenteilung	332
4.2	Schienenbefestigung	333
4.3	Backenschienenverspannung	333
4.4	Starre Herzstücke	334
4.5	Radlenker	335
4.6	Herzstück mit gelenkig beweglicher Spitze	336
4.7	Herzstück mit federnd beweglicher Spitze	337
5.	Einfache Weiche EW 60-2500-1 : 26,5 mit federnd beweglicher Herzstückspitze	337

	Zusammenfassung	341
	Summary	341
	List of figures	341
	Résumé	342
	Liste des figures	342

Teil XII

Schienen bei U-Bahnen 343

1.	Einleitung	343
2.	Gesichtspunkte für die Wahl der Schienen bei U-Bahnen	344
2.1	Schienenprofil	344
2.2	Festigkeit und Verschleißwiderstand des Schienenstahles	350
2.3	Kriterien für die Schienenwahl	351
3.	Einfluß der Fahrzeuge und des Gleises auf die Schienenbeanspruchung und den Verschleiß bei U-Bahnen	352
3.1	Schwingungssystem Fahrzeug/Gleis	352
3.2	Einfluß der Fahrzeuge	353

3.2.1	Profilgebung der Radreifen im Laufflächenbereich.	353
3.2.2	Fahrzeugkonstruktion	354
3.3	Einfluß der Fahrbahn.	357
3.3.1	Linienführung.	357
3.3.2	Spurweite	360
3.4	Einfluß der Fahrweise	360
4.	Schienenverschleiß bei U-Bahnen	361
4.1	Höhenverschleiß	361
4.2	Seitenverschleiß	361
4.2.1	Schmieranlagen.	363
4.2.2	Wassersprühanlagen	364
4.3	Gesamtverschleiß.	364
4.4	Wellen.	365
4.5	Schienenriffel.	368
4.6	Sonstige Schienenschäden	371
4.6.1	Schienenkopfverquetschungen.	371
4.6.2	Schienenkopfausbrüche	371
4.7	Beanspruchung der Weichen	372
4.7.1	Einfluß der Elastizität im Weichenbereich auf den Verschleiß.	372
4.7.2	Unstetigkeitsstelle Zungenbereich.	373
4.7.3	Herzstückbereich.	374
5.	Schleifarbeiten	375
6.	Beschränkung des Luft- und Körperschalles bei U-Bahnen	376
6.1	Allgemeines	376
6.2	Fahrgeräusche.	377
6.2.1	Rollgeräusche	377
6.2.2	Stoßgeräusche.	377
6.2.3	Kurvengeräusche	378
6.3	Fahrzeug- und gleistechnische Möglichkeiten zur Verringerung der Geräuschabstrahlung bei Roll-, Stoß- und Kurvengeräuschen.	384
6.3.1	Fahrzeugeitige Maßnahmen	384
6.3.2	Fahrbahnseitige Maßnahmen	385
	Schrifttum	386
	Zusammenfassung	388
	Summary.	389
	List of figures	389
	Résumé	390
	Liste des figures	391

Teil XIII

Die Schiene in der Oberbauwirtschaft	393
1. Volkswirtschaft und Oberbauwirtschaft.	393
2. Gegebenheiten zur Aufgabenstellung.	394
2.1 Volkswirtschaftliche Grunddaten	394
2.2 Netzstrukturen	395
2.3 Belastung und Belastungsstruktur	395
2.4 Netzstruktur, Belastung und Belastungsstruktur bei der Deutschen Bundesbahn.	397

3.	Technisch-physikalische Zusammenhänge
3.1	Schienenverschleiß
3.2	Dauerfestigkeit
3.3	Verschleißabhängige Nutzungszeiten
3.4	Abstimmung der Konstruktionselemente
3.5	Gleiskonstruktion und Unterhaltungsaufwand
4.	Oberbauwirtschaft für Schienen
4.1	Methoden der Oberbauerhaltung
4.2	Einteilung der Gleise und Weichen
4.3	Auswahl des Schienenprofils
5.	Schienenbewirtschaftung
5.1	Auswertung der Liegedauer von Oberbaustoffen
5.2	Technisch-wirtschaftliche Disposition von Schienen
5.3	Gestaltung der Oberbauprogramme bei der Deutschen Bundesbahn
6.	Zusammenfassende Schlußbetrachtung
6.1	Definition der Aufgaben und Zielsetzungen
6.2	Grundsätze für eine Oberbauwirtschaft
6.3	Empfehlungen für eine Schienenbewirtschaftung
	Zusammenfassung
	Summary
	List of figures
	List of tables
	Résumé
	Liste des figures
	Liste des tableaux
	Stichwortverzeichnis
	Dank an die Förderer