

Bernhard Lichtberger

Das Große Handbuch der
Gleisinstandhaltung

Bernhard Lichtberger

Das Große Handbuch der Gleisinstandhaltung

Geschichte der Mechanisierung des Gleisbaus
Das System Gleis · Neubau und Umbau
Belastung · Überwachung und Messen
Schienenbearbeitung
Gleisgeometrieberichtigung
Stopfen

Band 1

IMPRESSUM

Autor: Univ.-Doz. Dr. techn. Bernhard Lichtberger,
Landstrasser Hauptstrasse 64/3, 1030 Wien

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation
in der Deutschen Nationalbibliografie: Detaillierte bibliografische Daten
sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN: 978-3-347-69311-1

E-Book-ISBN: 978-3-347-69312-8

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung
des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche
Genehmigung der System7 railtechnology GmbH in irgendeiner Form (Fotokopie,
Mikrofilm, digital oder ein anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichts-
gestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet,
vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2022 Bernhard Lichtberger

Internet: <https://www.s7-rail.com>

Layout und Satz: Reihs Satzstudio, Lohmar, Deutschland

Umschlaggestaltung: Marlene Posch, Wien, Österreich

Druck und Distribution im Auftrag von System7 railtechnology GmbH:

tredition Verlag GmbH, Halenreihe 40-44, 22359 Hamburg

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	17
--------------------------	----

1

Geschichte der maschinellen Gleisinstandhaltung

<i>ZUSAMMENFASSUNG</i>	19
1.1 Industrielle Revolutionen und ihre Auswirkungen auf die Entwicklung der Gleisbaumaschinentechnik	20
1.2 Manuelle Gleisarbeiten	24
1.2.1 Manuelle Gleisarbeiten heute	25
1.3 Geschichte der Mechanisierung der Gleisarbeiten	26
1.4 Perioden der Mechanisierung des Gleisbaus	55
1900 bis 1965	55
1965 bis 1970	56
1970 bis 1990	56
1990 – jetzt	58
1.5 Historische Kostenreduktion der Gleisinstandhaltung	60
<i>FAZIT</i>	60
<i>LITERATURVERZEICHNIS</i>	61

2

Das System Gleis und seine Instandhaltung

<i>ZUSAMMENFASSUNG</i>	63
2.1 Die systemische Sicht	64
2.2 Systemische Sicht und Gleisinstandhaltungsmethoden	65
2.2.1 Fundamentale Gleisgrundsätze	66
2.3 Der ewige Kreislauf der Gleisinstandhaltung	67
2.3.1 Neubau/Umbau	67
2.3.2 Betriebsphase	67
2.3.3 Monitoring-Phase	68
2.3.4 Gleisvermessungsarbeiten	68
2.3.5 Gleisinstandhaltungsphase	69
2.3.5.1 Schienenoberflächenfehler	69
2.3.5.2 Schienenbrüche oder Deformierungen	69
2.3.5.3 Gleisgeometriefehler	69
2.3.5.4 Weicheninstandhaltung	70

2.3.5.5	Die Setzung des Gleises und seine Stabilisierung	70
2.3.5.6	Schotterabnutzung	71
2.3.5.7	Vegetationskontrolle	72
2.3.5.8	Schotterprofilverlust	72
2.3.5.9	Nicht ausreichende Tragfähigkeit des Untergrundes	72
2.3.5.10	Oberleitungsinstandhaltung	73
2.3.6	Gleiserneuerung	74
2.3.7	Weichenaustausch	74
2.3.8	Wiederaufbereitung/Wiedereinsatz von Gleismaterialien	74
2.4	Der Kreislauf der Gleisinstandhaltung	74
2.5	Die Lebensdauer der Gleiskomponenten	76
	FAZIT	77
	LITERATURVERZEICHNIS	77

3

Der Neubau und Umbau des Gleises

	ZUSAMMENFASSUNG	79
3.1	Grundlagen	80
3.1.1	Die Aufgaben des Gleises	80
3.1.2	Zusammenhang zwischen Bettungsmodul, Stützpunktsteifigkeit und Gleissteifigkeit	81
3.1.2.1	Das Bettungsmodul	82
3.1.3	Der Aufbau des Schottergleises	87
3.1.3.1	Anforderungen an den Schotter	88
3.1.3.2	Verkleben des Schotters	89
3.1.4	Der Aufbau der Festen Fahrbahn	89
3.1.5	Umbau einer Festen Fahrbahn wegen Verbundproblemen	92
3.1.5.1	Beseitigung eines Setzungsschadens der Festen Fahrbahn	93
3.1.6	Anstieg des Grundwasserspiegels	93
3.1.7	Das Fertigteilplattensystem Bögl	94
3.1.8	Die Feste Fahrbahn Bauart Rheda 2000	96
3.1.9	Funktionaler Vergleich Schotterfahrbahn mit Fester Fahrbahn	98
3.1.10	Kostenvergleich zwischen Schottergleis und Fester Fahrbahn	99
3.1.11	Schotteroberbau für 400 km/h	101
3.1.12	Nachhaltigkeit und ökologischer Fußabdruck Schotteroberbau und Feste Fahrbahn	102
3.1.13	Systemwahl Schottergleis oder Feste Fahrbahn	104
3.2	Der Neubau oder Vorbau von Schottergleisen	105
3.2.1	Die Einbringung und die Verdichtung des Schotterbettes vor dem Legen der Schwellen und Schienen	105
3.2.1.1	Konventionelle klassische Schottereinbringung und Verteilung auf der Planie	105
3.2.1.2	Schottereinbringung mit Schotterbandfertiger	108

3.2.2	Teilmechanisierter Gleisvorbau/Gleisumbau-Taktverfahren	108
3.2.2.1	Einzelsschwellenwechsel manuell	109
3.2.2.2	Einzelsschwellenwechsel mit einfacher Maschine	109
3.2.2.3	Einbau/Umbau mithilfe von Zwei-Wege-Bagger mit Spezialgreifer	109
3.2.2.4	Einbau von Gleisjochen mit dem Umbaumaschinensatz für Weichen und Gleise (UWG)	111
3.2.2.5	Einbau von Schwellen mit Portalkränen mit integriertem Einzelsschwellenverlegegerät	113
3.2.2.6	Schwellenverlegung mit Portalkran mit integriertem Einzelsschwellenverlegegerät	114
3.2.2.7	Einbau von Gleisjochen mit Gleisbaukränen	115
3.2.3	Schienentransport/Schienenwechselverfahren	117
3.2.3.1	Verladen von Schienen auf Waggons im Herstellerwerk	117
3.2.3.2	Transport der Langschienen	117
3.2.3.3	Standardflachwagen mit mobilen Verladekränen	118
3.2.3.4	Schienenabladevorrichtung kombiniert mit Schienentransportzug	119
3.2.3.5	Schienenabladesystem SAS (Vossloh)	119
3.2.3.6	Schienenladezug REX-S (Robel)	119
3.2.3.7	Schienenwechsselfließbandsystem (Vossloh)	120
3.2.3.8	Schienentransportsystem STS (Vossloh)	120
3.2.3.9	Langschienenentladevorrichtung über Zwei-Wege-Anhänger EMD (Geismar)	122
3.2.3.10	Schienenwechsel mit Rollenzangen und Zwei-Wege-Baggern	122
3.2.4	Aufarbeitung von Altschienen	123
3.2.5	Weicheneinbau/Weichentausch	123
3.2.5.1	Weichentransport	124
3.2.5.2	Ein- und Umbau von Weichen mit Gleisbaukränen	125
3.2.5.3	Weicheneinbaugerät Desec (Kirow)	127
3.2.6	Vollmechanisierter Neubau (Gleisvorbau)/Umbau – Fließbandverfahren	129
3.2.6.1	Umbauzüge Bauart SMD – Neu- und Umbau mit einer Maschine	131
3.2.6.2	Umbauzüge Bauart SUM	133
3.2.6.3	Gleisumbauzug TCM60R	134
3.2.6.4	Gleisumbauzug P95	135
3.2.6.5	Kombination aus Umbauzug und Gleisreinigung	135
3.2.6.6	Gleisverlegemaschine zum Neubau/Vorbau von Gleisen	137
3.2.7	Das Verspannen des Gleises bei Neutraltemperatur	137
3.3	Die Einbauverfahren der Festen Fahrbahn	137
3.3.1	Allgemeine Konstruktionsparameter	137
3.3.1.1	Hydraulisch gebundene Tragschicht	138
3.3.2	Vorarbeiten vor Erstellung der Festen Fahrbahn	139
3.3.3	Erstellen der Frostschutzschicht	139
3.3.4	Einbringen der HGT	140
3.3.5	Neubau System Fertigteilplatten Bögl	142
3.3.6	Einbau System Rheda 2000	147
3.4	Resultate/Durchführung Neubau und Umbau	149
	FAZIT	152
	LITERATURVERZEICHNIS	153

	ZUSAMMENFASSUNG	157
4.1	Allgemeines	158
4.2	Grundlagen	159
4.2.1	Güterzüge	160
4.2.2	Wirkende Kräfte des Güterverkehrs	162
4.2.3	Der Güterwagen der Zukunft	162
4.2.3.1	Ausbaustufe Basisausstattung	163
4.2.3.2	Ausbaustufe Standaktivität	163
4.2.3.3	Ausbaustufe Ep-Bremse	164
4.2.3.4	Ausbaustufe Zugintegrität	164
4.2.3.5	Ausbaustufe Eigenantrieb	164
4.2.4	Hochgeschwindigkeitszüge	165
4.2.5	Wirkende Kräfte des HGV-Verkehrs	170
4.2.5.1	Vertikalkraftschwankungen durch Polygonisierung der Räder	172
4.2.5.2	Vertikalkraftschwankungen durch Steifigkeitsschwankungen	172
4.2.6	Kraftwirkungen bei Weichendurchfahrt	172
4.2.7	Radlasten und zulässige Kräfte bei Bahnbaumaschinen	173
4.3	Fahrwiderstände	174
4.3.1	Die maximal übertragbare Zugkraft	175
4.3.2	Die Zugkraft durch Antriebsleistung	176
4.3.3	Spezifische Widerstandskräfte	176
4.3.4	Grundformel für den Laufwiderstand	176
4.3.4.1	Der Luftwiderstand	178
4.3.5	Streckenwiderstand	179
4.3.5.1	Spezifischer Widerstand in der Neigung	179
4.3.5.2	Bogenwiderstand nach Röckl	179
4.3.5.3	Tunnelwiderstand	180
4.3.5.4	Weichenwiderstandskraft	180
4.3.6	Beschleunigungswiderstand rotierender Massen	180
4.4	Bremsvermögen, Bremshundertstel	182
4.5	Gleitschutz und Schleuderschutz	185
4.6	Achslasten und Fahrgeschwindigkeiten	185
4.6.1	Streckenklassen	186
4.7	Fahrsicherheit und zulässige Fahrwegbeanspruchung	187
4.7.1	Zulässige Vertikal- und Lateralkräfte nach Group Standard GMRT2141	188
4.7.1.1	Maximal zulässige vertikale dynamische Kraft nach Group Standards	188
4.7.1.2	Maximale zulässige dynamische Querkraft nach Group Standards	189
4.7.1.3	Einzuhaltende vertikale Fahrzeugbeschleunigungen des Wagenkastens	190
4.7.1.4	Einzuhaltende Querbearbeitungen des Fahrzeugkastens	190
4.8	Der Rad-Schiene-Kontakt	191
4.8.1	Paarung Radprofil und Schienenprofil – Laufeigenschaften	192

4.8.2	Die Hertz'sche Flächenpressung des Rad-Schiene-Kontaktes	193
4.8.3	Der Schlupf	194
4.9	Das Fahrzeug und seine Dynamik	195
4.9.1	Schwingungsformen von Fahrzeugen	195
4.10	Die dynamische Radkraft	197
4.10.1	Radkraftverlagerung in der Überhöhung	197
4.10.2	Dynamische Radkraftbegrenzung durch die Stahlqualität	198
4.10.3	Dynamischer Radkraftanteil durch kurzweilige Gleislagefehler	199
4.10.4	Dynamischer Radkrafteinfluss durch Gleissteifigkeit	199
4.10.5	Dynamische Radkraft durch Stoßgleis oder Schweißung	200
4.10.6	Dynamische Radkraft hohler Stoß und Spritzstoß	202
4.10.7	Dynamische Radkraft durch Flachstellen	202
4.10.8	Dynamische Radkraft durch Polygonisierung der Räder	203
4.11	Trassenpreissysteme	204
4.11.1	Trassenpreissystem der Schweiz	204
4.11.2	Trassenpreissystem Deutschland	205
4.11.3	Trassenpreissystem Österreich	205
4.11.4	Trassenpreissystem Frankreich	206
4.11.5	Vergleich europäischer Trassenpreissysteme	207
4.12	Interoperabilität des Eisenbahnverkehrs	207
4.13	Eisenbahnverkehr weltweit	208
4.14	Auswirkungen von Covid-19 auf den Eisenbahnverkehr	209
4.15	Modal Split Europa	210
	FAZIT	210
	LITERATURVERZEICHNIS	211

5

Überwachung und Monitoring des Gleises

	ZUSAMMENFASSUNG	215
5.1	Allgemeines	216
5.1.1	Grenzwerte und Toleranzen	217
5.1.2	Optimale Inspektionsintervalle	220
5.1.3	Internationale Trends im Fahrweg Monitoring	224
5.1.3.1	Beachtung punktueller Instabilitäten und kurzweiliger Fehler	224
5.1.3.2	Georadar	225
5.1.3.3	Elektrische Widerstandsprofilmessung	228
5.1.3.4	Seismische Bodenerkundung	230
5.1.3.5	Schwerefeldmessungen	231
5.1.3.6	Neuere Ultraschallmethoden zur Schienenfehlerdetektion	231
5.1.3.7	Wirbelstrommessung	232
5.1.3.8	Wechselstromfeldmessungen	233
5.1.3.9	Magnetische Streuflussmessungen	234
5.1.3.10	Messung von Schienenoberflächen mit Scannern	236

5.1.4	Anforderung an die Messgenauigkeit von Gleismesswagen und Abnahmemesssysteme von Oberbaumaschinen	236
5.1.4.1	Unsicherheit von Messsystemen	238
5.1.5	Gleismessgrößen	239
5.1.6	Filterung und Auswertung	240
5.1.6.1	Offlineauswertung	240
5.1.6.2	Onlineauswertung	240
5.1.6.3	Berechnung von Butterworth-Bandpass-IIR-Filtern	241
5.1.7	Z-Transformation und Übertragungsfunktion	244
5.1.8	Fouriertransformation	245
5.1.9	Spektrales Leistungsdichtespektrum	248
5.1.10	Wavelets	249
5.1.11	Kalmanfilter und Anwendung	251
5.1.12	Geometrische Bewertungsmethoden	251
5.1.12.1	Standardabweichung	251
5.1.12.2	Logarithmische Normalverteilung	253
5.1.12.3	Boxplotdarstellung	254
5.1.12.4	Track Quality Indices (TQI)	255
5.1.13	Fahrzeugdynamische Bewertungsmethoden	255
5.1.13.1	MDZA-Ziffer	255
5.1.13.2	WGB-Methode	255
5.1.13.3	VRA-Methode	256
5.1.13.4	TGA-Methode	256
5.2	Die Verfahren/Methoden der Gleisgeometriemessung	258
5.2.1	Sehnenmessung	258
5.2.1.1	Übertragungsfunktion der Sehnenmessung	259
5.2.1.2	Rückrechnung von Sehnenmessungen in ursprüngliche Fehler	260
5.2.1.3	Rückrechnung von Sehnenmessungen mithilfe des Faktorenverfahrens nach Lichtberger	261
5.2.1.4	Die Übertragungsfunktion des Faktorenverfahrens	265
5.2.2	Gleisgeometriemessung mit inertialen Messsystemen	266
5.2.2.1	Inertiales Navigationsmesssystem auf Oberbaumaschinen	266
5.2.2.2	Inertiale Messsysteme auf Zügen	268
5.2.3	Gleissteifigkeitsmessung des Schotterbetts	271
5.2.4	Messung der Schotterbetthärte mittels vollhydraulischem Stopfaggregat	273
5.2.5	Rolling Stiffness Measurement Vehicle RSMV	274
5.2.6	Steifigkeitsmessung auf Zügen	274
5.2.7	Rammsondierung	274
5.2.8	Cone Penetration Test/Panda	274
5.2.9	Dynamischer Plattendruckversuch	276
5.2.10	Leichtes Fallgewichtsgesetz	276
5.3	Messungen auf Fahrzeugen, Zügen	277
5.3.1	Fahrzeugbasierte Herzstückverschleißmessung	278
5.3.2	Monitoring mit Smartphone-App	279
5.3.3	Inertiale Navigationssysteme auf Achslagern	279
5.3.4	Gleismesswagen oder Messeinrichtungen auf Nahverkehrszügen?	279

5.3.5	Stationäre Messungen im Gleis	280
5.3.5.1	ARGOS-Messstellen	280
5.3.5.2	Intelligente Schwellen	281
5.3.5.3	Weichenüberwachung	281
5.3.5.4	Radprofil- und Fahrstabilitätsmessungen im Gleis	282
5.3.5.5	Laserwaage LASCA zur Messung von Radlasten und Radunrundheiten	283
5.3.5.6	Messung der Stützpunktkräfte	283
5.3.5.7	Stationäre Überwachung von Böschungsrutschungen und Gleissenkungen	284
5.3.5.8	Magnetfeldmessungen	284
5.3.5.9	Lichtfaser-Sensorik	284
5.3.5.10	Zugprofilmessung (Fraunhofer IPM)	285
5.3.5.11	Stationäre Messung von Gleiskomponenten	285
5.3.6	Manuelle Messungen und Inspektion	286
5.3.6.1	Die Gleisbegehung	286
5.3.6.2	Weichenmessung	287
5.4	Gleisvormessung zur Ermittlung von Korrekturwerten für Instandhaltungsmaschinen	287
5.4.1	GNSS-Messungen	289
5.4.2	Das Bezugssystem DB_REF der Deutschen Bahn AG	289
5.4.3	Festpunktvormessung	291
5.4.4	Langsehnenaufnahme	292
5.4.4.1	Maschinelle Langsehnenaufnahme	292
5.4.4.2	Real Time Kinematic GNSS mit inertialem Navigationssystem zur Erfassung absoluter Gleislagen	293
5.4.4.3	Manuelle Vormessung mit Nivellier- und Pfeilhöhenabsetzgerät	294
5.4.4.4	Manuelle Langsehnenaufnahme mit Tachymeter	294
5.5	Elektronische Gleismesswagen und Sensorik	296
5.5.1	Multifunktionsmesswagen	296
5.5.2	Oberleitungsmessung	296
5.5.2.1	Messung der Fahrdrabtabnutzung	299
5.5.2.2	Masterkennung	299
5.5.2.3	Optische zustandsbezogene Oberleitungsüberwachung	299
5.5.2.4	Kontaktkraftmessung der Oberleitung	299
5.5.3	Schienenmesstechnik auf Oberbaumesswagen	300
5.5.3.1	Ultraschallmesstechnik auf elektronischen Gleismesswagen	300
5.5.3.2	Wirbelstrommessung	300
5.5.3.3	Schienen-Querprofilmessung	301
5.5.3.4	Schienenriffelmessung	301
5.5.4	Lichttraummesszug LIMEZ III	301
5.5.5	Gleismessfahrzeug Railab	303
5.5.6	Gleismessung mittels LIDAR-Drohntechnologie	305
5.5.7	Mobile-Mapping-Systeme	306
5.5.8	Lärmmonitoring – Bahnakustikmessungen	306
5.5.9	Vegetationsmessung	307
5.5.10	Messung des dynamischen Querverschiebewiderstandes	308

5.6	Manuelle mobile Messgeräte	308
5.6.1	Mobiles Ultraschall Schienenprüfgerät	308
5.6.2	Mobiles Wirbelstromprüfgerät	311
5.6.3	Mobiles Riffelmessgerät	313
5.6.4	Mobiles Schienenprofilmessgerät PMS 3	313
5.6.5	Manuelles mobiles Weichenmessgerät	314
5.6.6	Manuelles mobiles Gleisgeometriemessgerät	315
5.6.7	Manueller mobiler Scanner mit inertialer Mess-Einheit	316
5.6.8	Zerstörungsfreie Neutraltemperaturmessung	317
5.6.8.1	Messung des Gleis-Schwingungsverhaltens	318
5.6.8.2	Querverschiebewiderstandsmessungen der unbelasteten Einzelschwelle	318
5.6.8.3	Querverschiebewiderstandsmessungen mit Gleisstopfmaschine	320
FAZIT		320
LITERATURVERZEICHNIS		321

6

Beseitigung von Schienenfehlern

	ZUSAMMENFASSUNG	327
6.1	Technologie und Eigenschaften der Schiene	328
6.2	Schienenproduktion	328
6.3	Schienenwerkstoffe	329
6.4	Produktionslängen – Kennzeichnung	330
6.5	Schienenarten	330
6.6	Schienenfehler	330
6.6.1	Rollkontaktermüdung	331
6.6.2	Der Schienenfehlerkatalog der UIC	332
6.6.3	Head Checks	334
6.6.4	Belgrospis	337
6.6.5	Squats	338
6.6.6	Nierenbrüche und Shelling	339
6.6.7	»Braune« Flecken	339
6.6.8	Schleuderstellen	339
6.6.9	Riffel	340
6.6.10	Schlupfwellen	341
6.6.11	Isolierstöße	343
6.6.12	Schienenbrüche	343
6.6.13	Die magische Verschleißrate	343
6.6.14	Eignung der Schienenbearbeitungsmethoden	344
6.6.15	Das endlos verschweißte Gleis	344
6.6.15.1	Das Gleisstabilitätskriterium nach Prud'homme	345
6.6.15.2	Herstellen durchgehend verschweißter Gleise	346

6.6.15.3	Weiße Schiene gegen Gleisverwerfungen	351
6.6.15.4	Schweißtechnische Instandsetzung	353
6.6.16	Das Stoßlückengleis	354
6.7	Geräte und Maschinen zum Schienenschweißen	354
6.7.1	Thermit – Aluminothermische Schweißung	355
6.7.2	Abbrennstumpfschweißen	361
6.7.3	Gaspressschweißen	365
6.7.4	Lichtbogenschweißverfahren	366
6.7.4.1	Schienenauftragsschweißen	367
6.8	Schienenschleifen	367
6.8.1	Schleifstrategien	368
6.8.2	Einfluss der Schleifscheiben	369
6.8.3	Lärmentwicklung nach dem Schleifen	370
6.8.4	Neuschienenschleifen	370
6.8.5	Akustisches Schleifen	370
6.8.6	Präventivschleifen	371
6.8.7	Zyklisches Schleifen	371
6.8.8	Symptomabhängiges Schleifen	371
6.8.9	Korrektives Schleifen	372
6.8.10	Schleifen von Schweißungen	372
6.8.11	Reprofilierung – Profilschleifen	372
6.8.12	Vertikaler Schienenverschleiß	373
6.9	Schleifmaschinen	373
6.9.1	Maschinen mit rotierenden Schleifscheiben	373
6.9.2	Maschinen mit oszillierenden Schleifscheiben	377
6.9.3	Rutschersteinbetrieb	377
6.9.4	High-Speed Grinding	377
6.9.5	Handgeführte Schleifgeräte	379
6.10	Fräsmaschinen	380
6.11	Schleifen oder Fräsen	385
6.12	Drehhobelmaschine	386
6.13	Hobelmaschine	387
6.14	Schienentausch, Schienentransport, Gleisumbau	387
6.15	Weicheninstandsetzung	387
6.16	Spurweitenberichtigung	388
6.17	Sanierung Schwelle/Schienenbefestigung	388
6.18	Bohren von Schienen	389
6.19	Trennen von Schienen	389
6.20	Schienenbiegen	389
	FAZIT	389
	LITERATURVERZEICHNIS	390

	ZUSAMMENFASSUNG	393
7.1	Warum muss gestopft werden?	395
7.2	Was sind Gleisgeometriefehler?	395
7.2.1	Fehler an Stellen großer Steifigkeitsunterschiede	397
7.3	Methoden der Gleislagefehlerbehebung	398
7.3.1	Vermarktete Gleise	398
7.3.2	RTK-GPS vermarktete Gleise	400
7.3.3	Drei-Punkt-Verfahren	405
7.3.4	Übertragungsfunktion des Drei-Punkt-Verfahrens	406
7.3.5	Zwei-Sehnen-Verfahren nach Schubert mit symmetrischen Sehnen	408
7.3.6	Zwei-Sehnen-Verfahren nach Schubert mit asymmetrischen Sehnen	409
7.3.7	Vier-Punkt-Ausgleichsverfahren	410
7.3.8	Übertragungsfunktion des Vier-Punkt-Ausgleichsverfahrens	411
7.3.9	Winkelvergleichsverfahren	413
7.3.10	Sekanten-Verfahren	414
7.3.11	Moderne Ausgleichsverfahren	415
7.3.12	Gleisgeometrieverbesserung durch Stopfung	415
7.4	Steuer- und Regelungssysteme zur Gleislageberichtigung	417
7.4.1	Mechanische Stahlsehnensysteme	417
7.4.2	Überhöhungssteuerung	421
7.4.3	Optische Messsysteme	424
7.4.3.1	Optisches, kombiniertes System 7-Drei-Punkt-Verfahren	424
7.4.3.2	NEMO – Optisches Messsystem von Matisa	426
7.4.4	Führung über Laser	427
7.4.5	Optisches Peilverfahren per Funk	429
7.4.6	Manuelle Aufmessung und manuelle Vorwageneingabe	429
7.4.7	Führung über Totalstation	429
7.4.8	Palas	432
7.5	Gleisgeometrieführungscomputer	432
7.5.1	Trassenplan	433
7.5.2	Begriffe und Definitionen der Gleis- und Bauvermessung	433
7.5.3	Die Darstellung der Gleisgeometrie	434
7.5.4	Gleisgeometrieführungscomputer CEO++	436
7.5.5	Gleislageoptimierung mit dem CEO++	441
7.5.6	Gleisgeometrieführungscomputer CATT	444
7.5.7	Gleisgeometrieführungscomputer WINALC/SmartALC	444
7.5.8	Gleislageoptimierung – Momentenverfahren nach Schubert	445

7.6	Zulässige Beanspruchungen des Gleises durch Stopfarbeiten	446
7.6.1	Hebe- und Richtkräfte	446
7.6.2	Wirkende Hebekräfte in Weichen	448
7.6.3	Maximale Radlasten	451
7.7	Simulation des Stopfprozesses	452
7.7.1	Schotterbeanspruchung durch Stopfen	452
7.8	Verdichtbarkeit des Gleisschotters	454
7.8.1	Schotterkontakte mit Schwellenunterkante	458
7.9	Das Stopfen des Gleises	458
7.9.1	Haltbarkeit der Gleislage – Memory of the Track	465
7.9.2	Stopfen, Stopfprinzip und Stopfparameter	466
7.9.2.1	Stopftiefe	466
7.9.3	Stopffrequenz	467
7.9.4	Beistellgeschwindigkeit	468
7.9.5	Senkgeschwindigkeit der Stopfaggregate	468
7.9.6	Verdichtamplitude	469
7.9.7	Verdichtzeit	469
7.9.8	Beistelldruck	470
7.9.9	Energieübertragung beim Stopfen	471
7.9.10	Mehrfachstopfen	474
7.9.11	Synchronstopfen	475
7.9.12	Asynchronstopfen	475
7.9.13	Stopfaggregate mit Exzenterwellenantrieb	475
7.9.13.1	Rotatorische Vibration	476
7.9.13.2	Elliptische Vibration	477
7.9.13.3	Lineare Vibration	478
7.9.13.4	Stopfaggregat mit vollhydraulischer Vibration ohne Exzenterweile	479
7.9.14	Das vollhydraulische Stopfaggregat als Messinstrument	482
7.9.15	Das System7-Automatikstopfen	483
7.9.16	Bestimmung der Schotterbetteigenschaften durch die Stopfung	490
7.9.16.1	Verdichtkraft	490
7.9.16.2	Schotterbettsteifigkeit	491
7.9.16.3	Schotterbettdämpfung	491
7.9.16.4	Normierte Verdichtenergie	491
7.9.16.5	Webplattform INFrame	491
7.9.16.6	Schotterbettreport	493
7.9.17	Einfluss der Stopfung auf den Quer- und Längsverschiebewiderstand	500
7.10	Die Maschinentechnik	500
7.10.1	Stopfzyklus und Arbeitsgeschwindigkeit	500
7.10.2	Problematische Betriebsarten	505
7.10.3	Zyklische Maschinen	507
7.10.4	Kontinuierlich arbeitende Maschinen	514
7.10.5	Sonderausführungen von Stopfmaschinen	515

7.11 Die Instandhaltung der Weiche	516
7.11.1 Problemstellen in Weichen	518
7.12 Einzelfehlerbehebung	520
7.12.1 Klassifizierung von Einzelfehlern	521
7.12.2 Die maschinelle Einzelfehlerbehebung	524
7.13 Instandhaltungsstopfen	526
7.13.1 Auslauframpen	527
7.14 Stopfen nach Neu- bzw. Umbau	528
7.14.1 Zulässige Höchstgeschwindigkeiten nach 2. Stabilisierung	529
7.15 Kombiniertes Stopfen mit Schleifen	529
7.16 Anbaustopfgeräte	530
7.17 Mobiles Hebe-Richt-Aggregat	534
7.18 Manuelles Stopfen/Kraftstopfer	536
7.19 Stoneblower	538
7.20 Dynamische Seitenverdichtungsmaschine	541
7.21 Höhenausgleich durch Ausgleichsplatten	543
7.22 Abnahmeschreibersysteme	543
7.22.1 Überprüfung der Abnahmesysteme	545
7.22.2 Abnahmesysteme mit inertialen Navigationsmesssystemen	547
7.22.3 Mehrkanalschreiber mit Papieraufzeichnung	548
7.22.4 Digitale Signatur und Datenverschlüsselung	548
7.22.5 Abnahmetoleranzen	548
7.22.6 Händische Nachmessungen	550
7.22.7 Herstellung der Neulage	550
7.22.8 Abnahme Feste Fahrbahn und Masse-Feder-Systeme	551
FAZIT	551
LITERATURVERZEICHNIS	552
Empfohlene weiterführende Literatur	557
Index	559

Vorwort

Das Große Handbuch der Gleisinstandhaltung erscheint wegen des Umfangs in zwei Bänden mit zahlreichen farbigen Abbildungen und ergänzenden Tabellen. Der vorliegende erste Band umfasst sieben Kapitel: die Geschichte der Mechanisierung des Gleisbaus, das System Gleis, den Neubau und Umbau, die Belastung, Überwachung und Messung des Gleises, die Schienenbearbeitungsmethoden und die Gleisgeometrieberichtigung mithilfe des Stopfens.

Das Buch umfasst alle Aspekte in Theorie und Praxis des Neu- und Umbaus, der Instandhaltung des Schotteroberbaus und der Festen Fahrbahn.

Es richtet sich an Instandhalter:innen und Gleisbauer:innen, Bauingenieur:innen, Architekt:innen, Infrastrukturbetreiber:innen, Eisenbahningenieur:innen, Studierende der Eisenbahntechnik und des Bauingenieurwesens, fachlich an der Eisenbahn Interessierte oder beruflich anderweitig mit ihr Verbundene. Es ist als Handbuch und Nachschlagewerk konzipiert.

Der Autor möchte sich an dieser Stelle bei seiner Frau, Dr. Christina Wehringer, bedanken, die mit scharfem analytischen Verstand das Manuskript wiederholt gelesen, editiert und mich beraten hat. Dank gebührt auch Herrn Matthias Reihls, der das Buch layoutet und gesetzt hat. Seine Akkuratessse, seine Anregungen und ästhetische Gestaltung tragen wesentlich zur Qualität des Buches bei.

Ich möchte mich auch bei den zahlreichen Firmen und Personen bedanken, die mir Unterlagen, Abbildungen und Fotos freundlicherweise und unentgeltlich zur Verfügung gestellt haben.

Leider zeigten sich der Marktführer, Firma Plasser und Theurer, Export von Bahnbaumaschinen, Gesellschaft mbH, und die Firma Robel Baumaschinen GmbH nicht kooperativ, weswegen Abbildungen und Unterlagen diese Firmen betreffend nicht auf dem letzten Stand sind. Die Lesenden mögen dies entschuldigen.

Mit diesem Buch möchte ich einen Beitrag zur Entwicklung des Gleises und seiner Instandhaltung leisten. Mich selbst hat die Eisenbahn mit all ihren funkelnden, interessanten Facetten immer begeistert, und ich hoffe diesen Funken an andere weitergeben zu können.

*August 2022
Bernhard Lichtberger*

Geschichte der maschinellen Gleisinstandhaltung

ZUSAMMENFASSUNG

Die maschinelle Oberbauinstandhaltung ist eine Erfolgsgeschichte, die ihren Ausgangspunkt in der Schweiz durch die Firma Scheuchzer nahm. Die erste Stopfmaschine und die erste Reinigungsmaschine der Welt sind durch die Firma Scheuchzer entwickelt und gebaut worden. International wurde das Know-how von der Firma Matisa erworben und weltweit durch Maschinen vertrieben. Die Geschichte der maschinellen Gleisinstandhaltung ist eine, die ihre Entwicklung entlang der industriellen Revolutionen schreibt. Die manuelle personell aufwendige Gleisinstandhaltung wurde dadurch ökonomisch derart hinfällig, dass nur mehr vereinzelt manuelle Methoden angewandt werden, vor allem dann, wenn sich der Einsatz von Maschinen nicht lohnt.

Im Jahr 1953 wird in Österreich die Firma Franz Plasser gegründet, die durch ihre Innovationsbereitschaft und -kraft zum absoluten Weltmarktführer aufsteigt.^[17] Wesentliche Entwicklungsschritte der maschinellen Gleisinstandhaltung waren der Bau von Weichenstopfmaschinen, von Mehrschwellenstopfmaschinen und letztendlich von kontinuierlichen Stopfmaschinen. Eine bedeutende Leistung waren Entwicklungen im Großmaschinenbereich wie Reinigungsmaschinen bis hin zu 1.500 m³/h, Planumsanierungsmaschinen und kombinierte Maschinen für Gleisreinigung und Gleisumbau.

2002 tritt durch die Firma Linsinger mit der Schienenfrästechnik eine neue mobile Schienenbearbeitungstechnologie auf den Markt. 2014 wird durch die Firma System7 railsupport zum ersten Mal das Prinzip des Exzenterwellenantriebs durch die Erfindung und Entwicklung eines vollhydraulischen Stopfantriebs unterbrochen. Dieser erlaubt erstmalig während des Stopfens durch Messung der Kräfte und Verdichtenergie Aussagen über die Schotterbetteneigenschaften als Grundlage für die vollautomatische Anpassung der Stopfparameter für die optimale System7-Automatikstopfung. Die 2018 durch System7 auf den Markt gebrachte Universalstopfmaschine Universal Tamper 4.0 steht durch ihre Vielzahl von Sensoren ganz im Zeichen der Möglichkeiten der 4. industriellen Revolution.

1.1 Industrielle Revolutionen und ihre Auswirkungen auf die Entwicklung der Gleisbaumaschinentechnik

Die Entwicklung der Mechanisierung der Gleisbauarbeiten beginnt im Zeitalter der 2. industriellen Revolution und nutzt bis heute deren technische Möglichkeiten zur Weiterentwicklung. Die Geschichte zeigt:

- ▷ Es sind vor allem bahnbrechende Innovationen, die eine Fülle von Weiterentwicklungen auslösen und ermöglichen.
- ▷ Es sind die Erkenntnisse der Naturwissenschaft und der Forscher, die die entstehenden technologischen Fortschritte ermöglichen.
- ▷ Die Menschheit beachtet die Folgen ihres Handelns nicht ausreichend. Die Industrialisierung führte zu einem steilen Anstieg der Treibhausgase und Ausbeutung der Ressourcen, was die Lebensgrundlage der Menschen auf der Erde gefährdet.^[9]

Industrielle Revolutionen beschreiben den technischen Wandel, der auf naturwissenschaftlichen Erkenntnissen beruht (▷ Bild 1.1). Sie sind in kommerziellem Sinn getrieben von finanziell steigenden Einsparungen, einer Kapitalakkumulation, sozialem Wandel und einem Wachstum der Nachfrage.^[8]

Die vier Stufen der industriellen Revolution

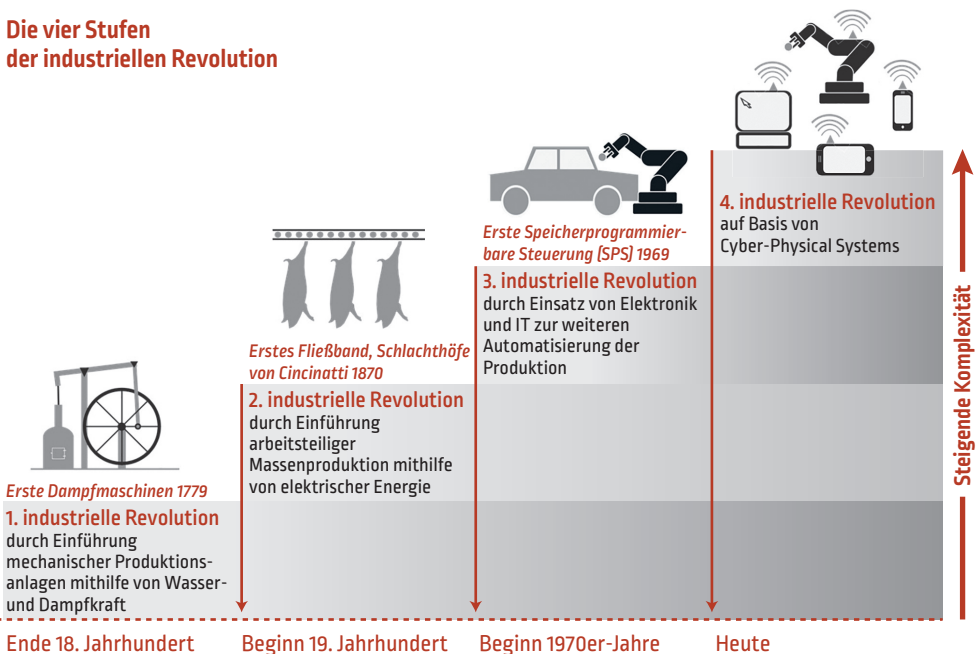


Bild 1.1: Die vier Stufen der industriellen Revolution; *Quelle: Autor nach [13].*