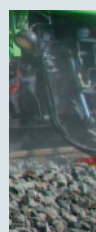
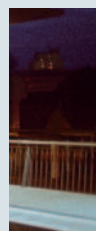
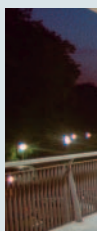
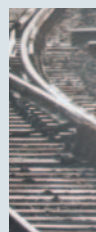
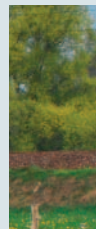


# Handbuch Gleis

Unterbau · Oberbau · Instandhaltung · Wirtschaftlichkeit



**Bernhard Lichtberger**

**Eurail  
press**

**komplett überarbeitete  
Neuaufgabe**

Dr. Bernhard Lichtberger

# Handbuch Gleis

Unterbau · Oberbau · Instandhaltung · Wirtschaftlichkeit

## Danksagung und Vorwort

Ich danke Herrn Roland Hogl, der mir bei der Ausarbeitung der Abbildungen behilflich war. Mein Dank gebührt auch Herrn Johann Dumser, der mich sehr bei der Zusammenarbeit mit dem Verlag unterstützt hat, Herrn Rainer Wenty, Herrn Klaus Rießberger und den vielen anderen, die hier namentlich nicht erwähnt werden können, die mich durch ihre Anregungen unterstützt und mir Unterlagen zur Verfügung gestellt haben.

Besonderen Dank und Wertschätzung bringe ich meiner lieben Frau Kornelia entgegen, die mir mit viel Verständnis und Zuspruch zur Seite stand.

Das vorliegende umfangreiche Buch entstand aus dem nicht ganz uneigennütigen Wunsch ein Handbuch zu erstellen, das in komprimierter Form relevante Daten und Informationen über das Gleis für den Eisenbahningenieur enthält. Viele der Ideen sowie die Grundlagen meines Verständnisses der physikalischen Gesetze, denen das Gleis und seine Instandhaltung unterworfen sind, habe ich von meinem leider viel zu früh verstorbenen lieben Freund Egon Schubert und Herrn Josef Theurer erhalten und erworben. Dafür danke ich ihnen. Die Arbeit als Leiter der Forschungs- & Versuchsabteilung der Fa. Plasser & Theurer gab und gibt mir die Möglichkeit der Forschungstätigkeit auf dem Gebiet des Verhaltens des Gleises und der optimalen Methoden der Gleisinstandhaltung. Dieses Wissen und der erworbene Erfahrungsschatz während der mehr als zwanzigjährigen Tätigkeit sind in dieses Buch eingeflossen. Das vorliegende Kompendium enthält viel Wissenswertes aus einschlägigen Publikationen, die ich im Buch genannt habe. Den Autoren, die ich in ihrer Vielzahl an dieser Stelle nicht aufzählen kann, gebührt ebenfalls mein Dank und meine Hochachtung.

Gegenüber der ersten und zweiten enthält die dritte Auflage dieses Buches einige grundsätzliche Erweiterungen und Ergänzungen. Diese betreffen das neue Kapitel über die Grundlagen der Oberleitung und des Oberleitungsbaues sowie deren Instandhaltung, des Weiteren neue Erkenntnisse hinsichtlich der Entstehung von Head Checks und der aktuellen praktischen Ergebnisse im Hinblick auf die Verschleißfestigkeit von kopfgehärteten Schienen. Ebenso ist in dieser dritten Auflage eine ausführliche Theorie des dynamischen Gleisstabilisierens zu finden. Zusätzliche Erkenntnisse über die Leistungsfähigkeit von Reinigungsmaschinen im Zusammenhang mit Siebqualität und Rückgewinnungsgrad erweitern den Inhalt. Ebenfalls durch weitere Informationen ergänzt wurden die Kapitel „Rad-Schiene-Wechselwirkung“ und „Wirtschaftlichkeit der Oberbauinstandhaltung“.

Ich hoffe, dieses Werk kann der kommenden Generation von Eisenbahningenieuren und der derzeit tätigen eine Hilfe und ein nützliches Nachschlagewerk sein.

In diesem Sinne wünsche ich mir, einen kleinen Beitrag für den Erfolg der Eisenbahn geleistet zu haben.

Bernhard Lichtberger

Linz, Februar 2010

**Inhaltsverzeichnis**

**Vorwort** ..... 5

**1 Allgemeines** ..... 21

**2 Der Aufbau des Gleises** ..... 24

**2.1 Die Anlagenverhältnisse**..... 24

2.1.1 Kreisbögen und Geraden..... 26

2.1.2 Überhöhung ..... 26

2.1.3 Einbauneigung und Nennspurweite der Schienen ..... 28

2.1.4 Spurerweiterungen ..... 29

2.1.5 Übergangsbögen..... 29

2.1.6 Überhöhungsrampen..... 30

2.1.7 Längsneigung und Neigungswechsel..... 30

2.1.8 Streckenquerschnitte auf Erdkörpern..... 31

2.1.9 Fahrbahnquerschnitte..... 31

2.1.10 Planumsbreiten..... 32

2.1.11 Kritische Geschwindigkeiten für den schweren Oberbau..... 33

2.1.12 Die Höchstgeschwindigkeiten bei verschiedenen Bahnen ..... 33

**2.2 Statische Kräfte am Gleis** ..... 34

2.2.1 Vertikalkräfte ..... 34

2.2.2 Schienenlängskräfte ..... 34

2.2.3 Querkräfte ..... 35

**2.3 Dynamische Kräfte am Gleis**..... 36

2.3.1 Radlastverlagerungen ..... 36

2.3.2 Schwingungsanregungen ..... 36

2.3.3 Eigenschwingungen der Fahrzeuge und des Gleises ..... 36

**2.4 Widerstände im Gleis** ..... 38

2.4.1 Tragfähigkeit ..... 38

2.4.2 Bettungsziffer C und vertikale Steifigkeit..... 38

2.4.3 Längswiderstände ..... 44

2.4.4 Querverschiebewiderstand (QVW) ..... 45

2.4.5 Der Kraftfluss vom Rad zum Untergrund..... 50

**2.5 Die Gleisberechnung** ..... 51

2.5.1 Die Schienenberechnung..... 51

2.5.2 Berechnung der Stützpunktkraft ..... 60

2.5.3 Die Schwellenberechnung ..... 60

2.5.4 Die Schienenbefestigungsberechnung ..... 60

2.5.5 Die Schotterbelastungsgrenzwerte ..... 61

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>2.6</b> | <b>Moderne Gleisberechnung unter Berücksichtigung dynamischer Effekte .....</b> | <b>62</b> |
| <b>2.7</b> | <b>Die stabile Lagerung des Gleisrostes.....</b>                                | <b>64</b> |
| 2.7.1      | Bogenatmung.....  | 64        |
| 2.7.2      | Das <i>Prud'homme</i> -Kriterium .....  | 65        |
| 2.7.3      | Schientemperatur versus Verspannungstemperatur .....                            | 65        |
| 2.7.4      | Horizontale Lagestabilitätsberechnung in der Geraden.....                       | 69        |
| 2.7.5      | Horizontale Lagestabilitätsberechnung im Bogen.....                             | 70        |
| 2.7.6      | Vertikale Lagestabilitätsberechnung .....                                       | 72        |
| 2.7.7      | Längsstabilität eines Gleises .....   | 72        |
| 2.7.8      | Eigenschwingungen von Brücken .....   | 73        |
| 2.7.9      | Gleitschichtedamm .....   | 74        |
| 2.7.10     | Die Umweltproblematik von Gleisanlagen .....                                    | 74        |
| 2.7.11     | Eigenfrequenzverhalten.....   | 75        |
| 2.7.12     | Schwingungsausbreitung.....   | 78        |
| 2.7.13     | Umwelteigenschaften von Eisenbahnstrecken .....                                 | 83        |
| 2.7.14     | Maßnahmen zur Minderung des Umwelteinflusses.....                               | 84        |
| <b>2.8</b> | <b>Schlussfolgerungen für die Gleisinstandhaltung .....</b>                     | <b>86</b> |
| <b>2.9</b> | <b>Instandhaltungsmaßnahmen .....</b>   | <b>88</b> |
| <b>3</b>   | <b>Die Schienen .....</b>   | <b>89</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Anforderungen an Schienen .....</b>  | <b>89</b> |
| <b>3.2</b> | <b>Die Schienenerzeugung .....</b>  | <b>89</b> |
| <b>3.3</b> | <b>Schientypen.....</b>   | <b>90</b> |
| 3.3.1      | Naturharte Schienen.....  | 90        |
| 3.3.2      | Wärmebehandelte Schienen .....  | 90        |
| 3.3.3      | Hoch legierte Schienen.....   | 94        |
| 3.3.4      | Bainitische Schienen.....   | 94        |
| <b>3.4</b> | <b>Chemische Zusammensetzung von Schienenstählen.....</b>                       | <b>95</b> |
| <b>3.5</b> | <b>Statische Härteprüfung .....</b>   | <b>96</b> |
| 3.5.1      | Brinellhärte .....  | 96        |
| 3.5.2      | Vickershärte .....  | 96        |
| 3.5.3      | Rockwellhärte.....  | 96        |
| <b>3.6</b> | <b>Spannungs-Dehnungs-Diagramm.....</b>   | <b>96</b> |

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| <b>3.7</b>  | <b>Kennzeichnung von Schienen .....</b>   | <b>97</b>  |
| <b>3.8</b>  | <b>Schienenformen .....</b>   | <b>97</b>  |
| 3.8.1       | Asymmetrische Schienenprofile in engen Radien .....                                     | 102        |
| 3.8.2       | Die ballige Schiene zur Verbesserung des Laufverhaltens<br>von Eisenbahnfahrzeugen..... | 104        |
| <b>3.9</b>  | <b>Schienenlängen .....</b>   | <b>104</b> |
| <b>3.10</b> | <b>Lärmabstrahlung von Schienen .....</b>   | <b>104</b> |
| <b>3.11</b> | <b>Beanspruchung der Schienen .....</b>   | <b>105</b> |
| 3.11.1      | Beanspruchungen durch vertikale Radlast .....   | 105        |
| 3.11.2      | Beanspruchung durch Führungskräfte .....  | 106        |
| 3.11.3      | Beanspruchung durch dynamische Kräfte .....   | 106        |
| 3.11.4      | Längskräfte infolge von Temperaturänderungen.....                                       | 107        |
| 3.11.5      | Längskräfte infolge der Antriebs- und Bremskräfte.....                                  | 107        |
| 3.11.6      | Spannungen in der Schiene.....  | 107        |
| 3.11.7      | Einfederung des Schienenkopfes.....   | 109        |
| 3.11.8      | Beanspruchung durch Baufahrzeuge.....   | 110        |
| <b>3.12</b> | <b>Vergütung von Schienen .....</b>   | <b>110</b> |
| 3.12.1      | Schienenhärtung .....   | 110        |
| 3.12.2      | Oberflächenbehandlung von Schienen.....   | 110        |
| <b>3.13</b> | <b>Schienenberechnung .....</b>   | <b>111</b> |
| <b>3.14</b> | <b>Dauerfestigkeit von Schienen.....</b>  | <b>112</b> |
| <b>3.15</b> | <b>Verschleißverhalten von Rad- und Schienenstählen .....</b>                           | <b>112</b> |
| 3.15.1      | Die magische Verschleißrate .....   | 113        |
| 3.15.2      | Seitlicher Schienenverschleiß .....   | 114        |
| 3.15.3      | Vertikaler Schienenverschleiß .....   | 116        |
| <b>3.16</b> | <b>Schweißen von Schienen.....</b>  | <b>116</b> |
| 3.16.1      | Die Thermitschweißung .....   | 116        |
| 3.16.2      | Die Abbrennstumpfschweißung .....   | 116        |
| 3.16.3      | Schienenbrüche an Schweißstellen.....   | 118        |
| <b>3.17</b> | <b>Verlegen, Verschweißen und Verspannen der Schienen.....</b>                          | <b>119</b> |
| 3.17.1      | Die Neutraltemperatur .....   | 119        |
| 3.17.2      | Herstellen durchgehend verschweißter Gleise .....                                       | 120        |
| 3.17.3      | Temperaturerhöhung durch lineare Wirbelstrombremse .....                                | 122        |
| 3.17.4      | Schienenenerwärmung durch „klassisches“ Bremsen.....                                    | 122        |

|             |  |            |
|-------------|--|------------|
| <b>3.18</b> | <b>Schienenschäden</b> .....                                       | <b>123</b> |
| 3.18.1      | Rollkontaktermüdung und Verschleiß.....                            | 123        |
| 3.18.2      | Head Checks .....  | 128        |
| 3.18.3      | Belgrospis .....   | 130        |
| 3.18.4      | Squats.....  | 130        |
| 3.18.5      | Fahrkantenschäden an eingleisigen Strecken.....                    | 130        |
| 3.18.6      | Eindrückungen .....  | 131        |
| 3.18.7      | Schleuderstellen .....   | 131        |
| 3.18.8      | Schlupfwellen – kurze Wellen.....                                  | 131        |
| 3.18.9      | Riffel .....   | 131        |
| 3.18.10     | Walzfehler.....  | 136        |
| 3.18.11     | Rissauslösung und Risswachstum.....                                | 136        |
| 3.18.12     | Das Messen der Schienenabnutzung.....                              | 137        |
| <b>3.19</b> | <b>Die Bearbeitung der Schienen im Gleis</b> .....                 | <b>137</b> |
| 3.19.1      | Behandlung eingefahrener Schienenstöße .....                       | 137        |
| 3.19.2      | Behandlung von Riffeln und Schlupfwellen.....                      | 138        |
| <b>4</b>    | <b>Die Schienenbefestigung</b> .....                               | <b>140</b> |
| <b>4.1</b>  | <b>CEN-Norm für Schienenbefestigungen</b> .....                    | <b>140</b> |
| 4.1.1       | Anforderungen an die Schienenbefestigungen .....                   | 140        |
| <b>4.2</b>  | <b>Die Aufgaben der Schienenbefestigung</b> .....                  | <b>140</b> |
| <b>4.3</b>  | <b>Die wirkenden Kräfte</b> .....                                  | <b>141</b> |
| 4.3.1       | Vertikale Kräfte .....   | 141        |
| 4.3.2       | Horizontale Kräfte (quer zum Gleis).....                           | 141        |
| 4.3.3       | Kräfte in Längsrichtung des Gleises.....                           | 142        |
| <b>4.4</b>  | <b>Unterschiede starre/elastische Schienenbefestigung</b> .....    | <b>143</b> |
| <b>4.5</b>  | <b>Die Zwischenlagen</b> .....                                     | <b>144</b> |
| <b>4.6</b>  | <b>Die konstruktive Ausbildung der Schienenbefestigung</b> .....   | <b>146</b> |
| 4.6.1       | Die Schienenbefestigung auf Holzschwellen .....                    | 146        |
| 4.6.2       | Die Schienenbefestigung auf Stahlschwellen .....                   | 149        |
| 4.6.3       | Die Schienenbefestigung auf Betonschwellen.....                    | 149        |
| 4.6.4       | Schienenverbindungen .....   | 155        |
| <b>4.7</b>  | <b>Die Prüfung der Schienenbefestigungen</b> .....                 | <b>156</b> |
| <b>4.8</b>  | <b>Prüfung der Befestigungsmittel mittels Messwagen GRMS</b> ..... | <b>157</b> |

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| <b>5</b>   | <b>Die Schwellen.....</b>   | <b>158</b> |
| <b>5.1</b> | <b>Vergleich Holz- und Betonschwellen.....</b>                              | <b>158</b> |
| <b>5.2</b> | <b>Die Aufgaben der Schwellen.....</b>                                      | <b>159</b> |
| <b>5.3</b> | <b>Die Holzschwellen .....</b>  | <b>159</b> |
| 5.3.1      | Behandlung von Holzschwellen .....  | 161        |
| 5.3.2      | Schäden an Holzschwellen .....  | 162        |
| 5.3.3      | Instandhalten der Holzschwellen im Gleis .....                              | 162        |
| 5.3.4      | Einsatzerfahrungen mit Holzschwellen in den USA.....                        | 162        |
| 5.3.5      | Hartholz und Weichholz .....  | 164        |
| <b>5.4</b> | <b>Die Stahlschwellen .....</b>   | <b>164</b> |
| <b>5.5</b> | <b>Die Stahlbetonschwellen .....</b>  | <b>168</b> |
| 5.5.1      | Zulassungsprüfungen und Anforderungen an Betonschwellen .....               | 168        |
| 5.5.2      | Praktische Einsatzerfahrungen mit Betonschwellen.....                       | 169        |
| 5.5.3      | Zweiblockschwellen.....   | 169        |
| 5.5.4      | Einblock-Betonschwellen.....  | 170        |
| 5.5.5      | Betonschwellensonderformen.....   | 171        |
| <b>5.6</b> | <b>Die Berechnung der Schwellen .....</b>                                   | <b>175</b> |
| 5.6.1      | Entwurfs-Radlast .....  | 176        |
| 5.6.2      | Berechnung der Querschwellen .....  | 176        |
| 5.6.3      | Berechnung der Langschwellen.....   | 177        |
| 5.6.4      | Berechnung der Schwellenplatten .....                                       | 177        |
| 5.6.5      | Verteilung der Radsatzlast .....  | 177        |
| 5.6.6      | Durchbiegungen der Schwelle .....   | 178        |
| <b>5.7</b> | <b>Die Widerstandskräfte gegen Quer- und Längsverschiebung .....</b>        | <b>179</b> |
| 5.7.1      | Widerstandskraft gegen Querverschiebung (QVV).....                          | 179        |
| 5.7.2      | Widerstandskraft gegen Längsverschieben.....                                | 179        |
| <b>6</b>   | <b>Der Schotter und das Schotterbett .....</b>                              | <b>180</b> |
| <b>6.1</b> | <b>Die Forderungen an das Schotterbett.....</b>                             | <b>180</b> |
| 6.1.1      | Der Bettungsquerschnitt.....  | 180        |
| 6.1.2      | Die Bettungsstoffe .....  | 181        |
| 6.1.3      | Die Prüfung des Gleisschotters.....   | 183        |
| 6.1.4      | Technische Lieferbedingungen des Gleisschotters .....                       | 186        |
| 6.1.5      | Die Verunreinigung des Schotters, Beurteilung des Verschmutzungsgrades..... | 187        |



|            |  |            |
|------------|--|------------|
| <b>6.2</b> | <b>Die physikalischen Eigenschaften des Schotters, Scherverhalten.....</b>   | <b>190</b> |
| 6.2.1      | Statisches Scherverhalten .....  | 191        |
| 6.2.2      | Statisches Scherverhalten verunreinigten Schotters, gebrauchten Schotters, Rundkieses und aufbereiteten Schotters..... | 192        |
| 6.2.3      | Statisches Scherverhalten mit optimalem Anteil von Distanzkorn .....   | 193        |
| 6.2.4      | Dynamisches Scherverhalten.....  | 193        |
| <b>6.3</b> | <b>Die Reinigung des Schotters .....</b>   | <b>194</b> |
| 6.3.1      | Die Reinigung der Bettungsflanken .....  | 194        |
| 6.3.2      | Die Reinigung des ganzen Schotterbettes .....  | 194        |
| 6.3.3      | Die Leistung von Reinigungsmaschinen .....   | 196        |
| 6.3.4      | Das Waschen des Schotters.....   | 196        |
| <b>6.4</b> | <b>Dimensionierung der Schotterbettung .....</b>   | <b>196</b> |
| 6.4.1      | Die optimale Schotterhöhe – Lastverteilung auf Schwellen.....  | 196        |
| 6.4.2      | Schotterbedarf für Bettungsquerschnitte .....  | 197        |
| <b>6.5</b> | <b>Die Wiederherstellung des Schotterbettes .....</b>  | <b>198</b> |
| 6.5.1      | Die Wiederherstellung der Gleislage mit Maschinen .....  | 198        |
| 6.5.2      | Die Arbeitstechnologie nach der Bettungsreinigung .....  | 198        |
| <b>6.6</b> | <b>Schotterverkleben .....</b>   | <b>201</b> |
| <b>7</b>   | <b>Das Planum .....</b>  | <b>202</b> |
| <b>7.1</b> | <b>Allgemeines zum Tragverhalten des Gleises.....</b>  | <b>202</b> |
| 7.1.1      | Messung der Tragfähigkeit des Planums.....   | 202        |
| 7.1.2      | Die Verdichtung des Planums – die Proctordichte .....  | 202        |
| <b>7.2</b> | <b>Die Entwässerung des Planums .....</b>  | <b>203</b> |
| <b>7.3</b> | <b>Die Verstärkung des Planums.....</b>  | <b>203</b> |
| 7.3.1      | Die Verstärkung des Planums durch Pflasterungen, Platten .....   | 203        |
| 7.3.2      | Die chemische Bodenumwandlung.....   | 204        |
| 7.3.3      | Größere Dicke des Schotterbettes.....  | 204        |
| 7.3.4      | PVC-Folien .....   | 205        |
| 7.3.5      | Der Einbau von Schutzschichten .....   | 205        |
| 7.3.6      | Der Einbau von Geokunststoffen.....  | 218        |
| <b>8</b>   | <b>Der Untergrund.....</b>   | <b>223</b> |
| <b>8.1</b> | <b>Die Bodenarten und deren Kennziffern .....</b>  | <b>223</b> |
| 8.1.1      | Die Bodenkennziffern.....  | 223        |
| 8.1.2      | Die Tragfähigkeitskennwerte .....  | 227        |

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| <b>8.2</b>  | <b>Eigenschaften von Böden.....</b>                                       | <b>228</b> |
| 8.2.1       | Feuchtigkeit und Trockendichte .....                                      | 228        |
| 8.2.2       | Plastizität (Atterberg Grenze – Ausrollgrenze) .....                      | 228        |
| 8.2.3       | Spannungs- und Dehnungsverhalten bei Böden .....                          | 229        |
| 8.2.4       | Die Tragfähigkeit der Böden.....  | 233        |
| <b>8.3</b>  | <b>Schäden des Erdplanums.....</b>  | <b>234</b> |
| <b>8.4</b>  | <b>Ursachen der Schäden des Erdplanums.....</b>                           | <b>234</b> |
| <b>8.5</b>  | <b>Folgen der Schäden des Erdplanums .....</b>                            | <b>235</b> |
| <b>8.6</b>  | <b>Der ideale und der schlechte Boden.....</b>                            | <b>235</b> |
| <b>8.7</b>  | <b>Die Beanspruchung des Untergrundes und das Setzungsverhalten.....</b>  | <b>235</b> |
| 8.7.1       | Bettungsmodul mehrschichtiger Systeme – Theorie nach <i>Odemark</i> ..... | 236        |
| 8.7.2       | Spannungsverlauf im Mehrschichtsystem in der Lastachse.....               | 237        |
| <b>8.8</b>  | <b>Verformungen des Untergrundes und des Erdbauwerks .....</b>            | <b>240</b> |
| <b>8.9</b>  | <b>Belastung des Erdplanums.....</b>                                      | <b>241</b> |
| <b>8.10</b> | <b>Geometrische Anforderungen an das Erdplanum .....</b>                  | <b>242</b> |
| <b>8.11</b> | <b>Die Bodenuntersuchungen .....</b>                                      | <b>242</b> |
| 8.11.1      | Seismische Methode .....  | 242        |
| 8.11.2      | Schlitzstab-Sondierung mit Probeentnahme .....                            | 243        |
| 8.11.3      | Untergrund-Untersuchungsmaschine (UUM).....                               | 243        |
| 8.11.4      | Auswertung der Längspfeilhöhe von Oberbaumesswagenfahrten .....           | 243        |
| 8.11.5      | Steifigkeitsmessungen .....   | 243        |
| 8.11.6      | Lanzeneindringtest – Drucksonde (Cone Penetration Test).....              | 244        |
| 8.11.7      | Rammsondierungen .....  | 244        |
| 8.11.8      | Schürfschlitze .....  | 244        |
| <b>8.12</b> | <b>Bodenverbesserung und Bodenverfestigung .....</b>                      | <b>244</b> |
| 8.12.1      | Rütteldruckverdichtung.....   | 245        |
| 8.12.2      | Rüttelstopfverfahren .....  | 245        |
| 8.12.3      | Pfahlähnliche Tragglieder .....   | 246        |
| <b>8.13</b> | <b>Die chemische Bodenunmwandlung.....</b>                                | <b>246</b> |
| 8.13.1      | Bodenverbesserung durch Kalk.....   | 246        |
| 8.13.2      | Bodenstabilisierung durch Zement.....                                     | 246        |
| 8.13.3      | Bodenverfestigung nach <i>Joosten</i> .....                               | 247        |

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| <b>8.14</b> | <b>Die Entwässerung des Bodens.....</b>   | <b>247</b> |
| 8.14.1      | Das Wasser im Boden .....   | 247        |
| 8.14.2      | Einfluss des Wassers auf den Boden .....  | 248        |
| 8.14.3      | Entwässerungsanlagen, Drainage.....   | 248        |
| <b>8.15</b> | <b>Die Frostepfindlichkeit des Untergrundes .....</b>                           | <b>250</b> |
| 8.15.1      | Frostkriterium nach Casagrande .....  | 251        |
| 8.15.2      | Schutz gegen Frostaufzüge .....   | 251        |
| <b>9</b>    | <b>Die Gleisbauarten.....</b>   | <b>252</b> |
| <b>9.1</b>  | <b>Das Schottergleis .....</b>  | <b>252</b> |
| 9.1.1       | Ansätze zur Beschreibung der Gleisqualität .....                                | 252        |
| 9.1.2       | Eigenschaften der Gleisqualität.....  | 253        |
| 9.1.3       | Eigenschaften des Schottergleises .....   | 256        |
| 9.1.4       | Druckverlauf unter der Schwelle im Unterbau.....                                | 262        |
| 9.1.5       | Das Verformungsverhalten des Schottergleises.....                               | 263        |
| 9.1.6       | Kritische Schwinggeschwindigkeit und dynamisches Setzungsverhalten .....        | 273        |
| 9.1.7       | Die Tragfähigkeit der Schotterbettung.....                                      | 275        |
| 9.1.8       | Querverschiebewiderstand des Schottergleises.....                               | 282        |
| 9.1.9       | Kritische Geschwindigkeit und Deformationsenergie des Oberbaus.....             | 282        |
| 9.1.10      | Ursachen für die Entstehung von Feinbestandteilen.....                          | 284        |
| 9.1.11      | Verteilung der Feinbestandteile im Schotterbett .....                           | 285        |
| <b>9.2</b>  | <b>Die Suche nach der optimalen Gleiskonstruktion.....</b>                      | <b>286</b> |
| 9.2.1       | Das Modell von <i>JR Central</i> .....  | 286        |
| 9.2.2       | Das Modell der <i>Delft Universität</i> .....                                   | 288        |
| 9.2.3       | Das Modell der <i>TU Graz</i> .....   | 288        |
| 9.2.4       | Dynamische Fahrbahnmodelle.....   | 292        |
| <b>9.3</b>  | <b>Herstellung der Gleise mit höchster Anfangsqualität .....</b>                | <b>293</b> |
| <b>9.4</b>  | <b>Schottergleise mit Querschwellen.....</b>                                    | <b>294</b> |
| <b>9.5</b>  | <b>Schotteroberbau für Schnellfahrstrecken .....</b>                            | <b>295</b> |
| 9.5.1       | Geforderte Eigenschaften für einen Schotteroberbau für Schnellfahrstrecken..... | 295        |
| 9.5.2       | Weiterentwicklungen des Schotteroberbaues .....                                 | 299        |
| <b>10</b>   | <b>Die Feste Fahrbahn (FF).....</b>   | <b>306</b> |
| <b>10.1</b> | <b>Die Forderungen an die Feste Fahrbahn.....</b>                               | <b>306</b> |
| 10.1.1      | Setzungsfreier Untergrund.....  | 306        |
| 10.1.2      | Fertigungspräzision und Festigkeit der oberen gebundenen Tragschichten .....    | 307        |
| 10.1.3      | Fertigungspräzision und Festigkeit der unteren ungebundenen Tragschichten ..... | 307        |

|             |  |            |
|-------------|--|------------|
| <b>10.2</b> | <b>Die Feste Fahrbahn in Tunneln .....</b>   | <b>309</b> |
| <b>10.3</b> | <b>Die Feste Fahrbahn auf Erdbauwerken .....</b>                                       | <b>309</b> |
| <b>10.4</b> | <b>Vergleich Schotteroberbau/Feste Fahrbahn .....</b>                                  | <b>310</b> |
| 10.4.1      | Vorteile der Festen Fahrbahn .....   | 311        |
| 10.4.2      | Nachteile der Festen Fahrbahn .....  | 311        |
| <b>10.5</b> | <b>Wirtschaftlichkeit und Kosten der Festen Fahrbahn .....</b>                         | <b>312</b> |
| <b>10.6</b> | <b>Bauarten der Festen Fahrbahn .....</b>  | <b>313</b> |
| 10.6.1      | Eingelagerte Bauarten auf Stützpunkten mit Schwelle.....                               | 313        |
| 10.6.2      | Aufgelagerte Bauarten .....  | 318        |
| 10.6.3      | Monolithische Bauarten auf Stützpunkten ohne Schwelle .....                            | 321        |
| 10.6.4      | Vorgefertigte Bauarten auf Stützpunkten ohne Schwelle .....                            | 232        |
| 10.6.5      | Kontinuierliche Lagerung mit eingegossener Schiene.....                                | 326        |
| 10.6.6      | Kontinuierliche Lagerung mit eingeklemmter Schiene.....                                | 328        |
| <b>10.7</b> | <b>Vergleich der Bauhöhen der verschiedenen Bauarten<br/>der Festen Fahrbahn .....</b> | <b>330</b> |
| <b>10.8</b> | <b>Technischer und wirtschaftlicher Vergleich der FF-Bauarten .....</b>                | <b>331</b> |
| <b>11</b>   | <b>Rad-Schiene-Wechselwirkung .....</b>  | <b>332</b> |
| <b>11.1</b> | <b>Fahrdynamik .....</b>   | <b>332</b> |
| 11.1.1      | Anfahrkräfte.....  | 332        |
| 11.1.2      | Der Anfahrwiderstand $w_a$ .....   | 332        |
| 11.1.3      | Der Neigungswiderstand $w_s$ .....   | 332        |
| 11.1.4      | Der Krümmungswiderstand $w_k$ .....  | 333        |
| 11.1.5      | Der Laufwiderstand $w_l$ der Fahrzeuge.....  | 333        |
| 11.1.6      | Der Luftwiderstand .....   | 334        |
| 11.1.7      | Laufwiderstand für Züge nach <i>Strahl</i> $w_v$ .....                                 | 334        |
| 11.1.8      | Beschleunigungswiderstand $w_a$ .....  | 334        |
| 11.1.9      | Äquivalente Konizität .....  | 335        |
| <b>11.2</b> | <b>Der Rad-Schiene-Kontakt.....</b>  | <b>341</b> |
| 11.2.1      | Die <i>Hertz'sche</i> Flächenpressung.....   | 342        |
| 11.2.2      | Kontaktmechanik.....   | 342        |
| <b>11.3</b> | <b>Der Einfluss der Berührgeometrie Rad/Schiene .....</b>                              | <b>344</b> |
| <b>11.4</b> | <b>Mängel am Fahrzeug.....</b>   | <b>344</b> |

|              |   |            |
|--------------|---|------------|
| <b>11.5</b>  | <b>Kräfte auf das Gleis durch dynamische Radlasten.....</b>                               | <b>345</b> |
| 11.5.1       | Wechselwirkung des Fahrzeuges mit Gleislagefehlern.....                                   | 346        |
| 11.5.2       | Dynamische Fahrzeugkräfte bei Einzelfehlern.....  | 348        |
| 11.5.3       | Vertikaler Schwellenstoß bei Zugüberfahrt über Schwellenfehlagen .....                    | 351        |
| 11.5.4       | Eigenfrequenz Radsatz-Gleis .....   | 354        |
| <b>11.6</b>  | <b>Schienefahrzeuglärm .....</b>  | <b>354</b> |
| 11.6.1       | Geräuschursache .....   | 354        |
| 11.6.2       | Auswirkung der Schienenrauigkeit .....  | 356        |
| 11.6.3       | Auswirkung der Radrauigkeit .....   | 357        |
| <b>11.7</b>  | <b>Die Beurteilung und Messung der Fahrzeugreaktionen .....</b>                           | <b>358</b> |
| 11.7.1       | SR-Verfahren der <i>DB AG</i> .....   | 358        |
| 11.7.2       | VRA-System der <i>Nederlandse Staatsbahn (NS)</i> .....                                   | 358        |
| <b>11.8</b>  | <b>Die Forderungen des Gleises an das Fahrzeug.....</b>                                   | <b>358</b> |
| <b>11.9</b>  | <b>Das optimale Fahrzeug .....</b>  | <b>359</b> |
| 11.9.1       | Die Gleislage – Mathematische Beschreibung als Grundlage für<br>Fahrzeugauslegungen ..... | 359        |
| 11.9.2       | Synthese eines klassifizierten Gleisfahrweges aus<br>Gleisunebenheitsdichtespektren ..... | 362        |
| 11.9.3       | Analyse der Fahrzeugreaktionen anhand klassifizierter Gleisfahrwege .....                 | 362        |
| 11.9.4       | Optimierungsmöglichkeiten der Fahrwerke .....   | 362        |
| <b>11.10</b> | <b>Neigezüge.....</b>   | <b>362</b> |
| 11.10.1      | Neigezüge mit aktiver Ansteuerung.....  | 363        |
| 11.10.2      | Neigezüge mit passiver Ansteuerung .....  | 363        |
| <b>11.11</b> | <b>Überwachung der Fahrzeuge .....</b>  | <b>364</b> |
| <b>12</b>    | <b>Die Weichen .....</b>  | <b>366</b> |
| <b>12.1</b>  | <b>Die Aufgaben der Weichen, Kreuzungen und Kreuzungsweichen.....</b>                     | <b>366</b> |
| <b>12.2</b>  | <b>Hauptarten der Weichen, Kreuzungen und Kreuzungsweichen.....</b>                       | <b>367</b> |
| 12.2.1       | Einfache Weichen (EW).....  | 367        |
| 12.2.2       | Doppelweichen (DW) .....  | 367        |
| 12.2.3       | Kreuzungen und Kreuzungsweichen.....  | 368        |
| 12.2.4       | Bogenweichen.....   | 368        |
| 12.2.5       | Scheitelklothoidenweichen.....  | 368        |
| <b>12.3</b>  | <b>Bezeichnung von Weichen.....</b>   | <b>370</b> |

|              |  |            |
|--------------|--|------------|
| <b>12.4</b>  | <b>Elemente von Weichen.....</b>                                       | <b>370</b> |
| 12.4.1       | Die Zunge.....   | 370        |
| 12.4.2       | Zungenrollvorrichtung .....  | 373        |
| 12.4.3       | Fahrkantenoptimierung (FAKOP).....                                     | 373        |
| 12.4.4       | Die Backenschiene .....  | 373        |
| 12.4.5       | Das Herzstück.....   | 374        |
| 12.4.6       | Die Flügelschienen.....  | 377        |
| 12.4.7       | Der Radlenker .....  | 377        |
| 12.4.8       | Weichenverschlüsse .....   | 378        |
| 12.4.9       | Hydraulischer Weichenantrieb.....                                      | 378        |
| 12.4.10      | Weichenheizung .....   | 378        |
| 12.4.11      | Rillenweite, Leitweite und Leitflächenabstand .....                    | 379        |
| 12.4.12      | Weichendiagnosesysteme .....   | 380        |
| <b>12.5</b>  | <b>Die schwingungsgedämpfte Weiche mit geteilten Langschwelen.....</b> | <b>380</b> |
| <b>12.6</b>  | <b>Geometrie- und Konstruktionsmerkmale von Weichen.....</b>           | <b>381</b> |
| 12.6.1       | Die Seitenbeschleunigung.....  | 381        |
| 12.6.2       | Die Seitenbeschleunigungsänderung (der Ruck) .....                     | 382        |
| 12.6.3       | Die Weichenneigung.....  | 382        |
| <b>12.7</b>  | <b>Schematische Darstellung von Weichen.....</b>                       | <b>383</b> |
| <b>12.8</b>  | <b>Setzungsverhalten von Weichen .....</b>                             | <b>383</b> |
| <b>12.9</b>  | <b>Instandhaltung von Weichen .....</b>                                | <b>384</b> |
| 12.9.1       | Weicheninspektion .....  | 384        |
| 12.9.2       | Vorbereitungsarbeiten.....   | 384        |
| <b>12.10</b> | <b>Schienenauszüge .....</b>   | <b>385</b> |
| <b>13</b>    | <b>Das Oberleitungssystem.....</b>                                     | <b>386</b> |
| <b>13.1</b>  | <b>Bahnstromarten.....</b>   | <b>386</b> |
| <b>13.2</b>  | <b>Gleichstromsysteme.....</b>   | <b>387</b> |
| <b>13.3</b>  | <b>Wechselstromsysteme .....</b>                                       | <b>387</b> |
| <b>13.4</b>  | <b>Die Fahrleitung .....</b>   | <b>387</b> |
| <b>13.5</b>  | <b>Luftstrecken.....</b>   | <b>391</b> |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 13.6      | Oberleitungsbauweisen .....  | 391        |
| 13.7      | Aufbau von Längskettenwerken .....   | 393        |
| 13.8      | Rückführung des Traktionsstroms.....   | 394        |
| 13.9      | Zulässige Berührspannungen .....   | 396        |
| 13.10     | Wechselwirkung Stromabnehmer/Oberleitung .....                                     | 397        |
| <b>14</b> | <b>Grundbegriffe der Leit- und Sicherungstechnik<br/>im Eisenbahnbetrieb .....</b> | <b>398</b> |
| 14.1      | Blockabschnitt.....  | 398        |
| 14.2      | Gleisstromkreise .....   | 398        |
| 14.2.1    | Isolierschienen .....  | 398        |
| 14.2.2    | Isolierstöße .....   | 398        |
| 14.3      | Achszähler .....   | 399        |
| 14.4      | Punktförmige Zugbeeinflussung PZB .....  | 399        |
| 14.5      | Linienförmige Zugbeeinflussung LZB .....   | 400        |
| 14.6      | Das europäische Betriebsleitsystem ERTMS.....                                      | 400        |
| 14.7      | Sicherheitsfahrschaltung Sifa .....  | 401        |
| 14.8      | Heißläuferortung .....   | 401        |
| <b>15</b> | <b>Gleisinstandhaltung .....</b>   | <b>402</b> |
| 15.1      | Typische Durcharbeitszyklen .....  | 402        |
| 15.2      | Instandhaltungsrichtwerte und Gefahrgrenzwerte .....                               | 402        |
| 15.2.1    | Instandhaltungsrichtwerte und Gefahrgrenzwerte für die Gleislage .....             | 403        |
| 15.2.2    | Instandhaltungsrichtwerte Schienenoberflächenfehler .....                          | 404        |
| 15.2.3    | Instandhaltungsrichtwerte Schienenkopfquerprofil .....                             | 404        |
| 15.3      | Abnahmegenaugkeiten .....  | 406        |
| 15.4      | Gleisqualitätsbetrachtungen.....   | 407        |
| 15.4.1    | Gleisqualitätsverlauf .....  | 407        |
| 15.4.2    | Summenkurve der Gleisfehler .....  | 412        |
| 15.5      | Die Wahl der optimalen Sperrpausendauer .....                                      | 414        |

|              |  |            |
|--------------|--|------------|
| <b>15.6</b>  | <b>Gleisgeometrieberichtigung.....</b>                                 | <b>416</b> |
| 15.6.1       | Messung der Gleisgeometrie .....                                       | 416        |
| 15.6.2       | Vermarktes Gleis – Messung und Berechnung der Gleiskorrekturwerte..... | 431        |
| <b>15.7</b>  | <b>Berichtigung der Schienenfehler .....</b>                           | <b>504</b> |
| 15.7.1       | Messung der Schienen.....  | 504        |
| 15.7.2       | Berichtigung der Schienenfehler .....                                  | 507        |
| <b>15.8</b>  | <b>Schotterbettbearbeitung.....</b>                                    | <b>526</b> |
| 15.8.1       | Messung des Schotterbettprofils .....                                  | 526        |
| 15.8.2       | Schotterbettreinigung .....  | 527        |
| 15.8.3       | Die Vegetationskontrolle .....   | 552        |
| 15.8.4       | Vakuum-FräS-Technik .....  | 553        |
| 15.8.5       | Schotterverteilungs- und -transportsysteme .....                       | 554        |
| 15.8.6       | Schottervertei- und Schotterplaniermaschinen .....                     | 556        |
| 15.8.7       | BDS-System .....   | 560        |
| <b>15.9</b>  | <b>Untergrundverbesserung .....</b>                                    | <b>562</b> |
| 15.9.1       | Messung der Untergrundverhältnisse.....                                | 562        |
| 15.9.2       | Einbau von Planumsschutzschichten .....                                | 564        |
| 15.9.3       | Bodenverbesserungsmethoden.....  | 573        |
| <b>15.10</b> | <b>Neubau und Umbau des Gleisrostes.....</b>                           | <b>575</b> |
| 15.10.1      | Historischer Abriss.....   | 575        |
| 15.10.2      | Gleisumbauzug.....   | 578        |
| 15.10.3      | Schienenzieh- und -drückanlage.....                                    | 580        |
| <b>15.11</b> | <b>Weichenverlegung und Weichentransport .....</b>                     | <b>581</b> |
| 15.11.1      | Steckerfertige Weichen.....  | 581        |
| 15.11.2      | Weichentransportwagen Serie WTW.....                                   | 581        |
| 15.11.3      | Weichenumbaumaschine Serie WM.....                                     | 582        |
| 15.11.4      | Weichenumbau mit Kränen.....   | 583        |
| 15.11.5      | Weichenumbau mit UWG .....   | 583        |
| <b>15.12</b> | <b>Gleisbaukräne.....</b>  | <b>584</b> |
| <b>15.13</b> | <b>Oberleitungsinstandhaltung.....</b>                                 | <b>584</b> |
| 15.13.1      | Abtrag der bestehenden Oberleitungskette.....                          | 585        |
| 15.13.2      | Aufbau neuer Oberleitungskettenwerke .....                             | 588        |
| 15.13.3      | Aufbau der Verstärkungsleitung und des Rückleiters.....                | 591        |



|             |  |            |
|-------------|--|------------|
| <b>16</b>   | <b>Lebensdauerkosten von Bahnen.....</b>   | <b>592</b> |
| <b>16.1</b> | <b><i>UIC</i>-Studie zum Vergleich der LCC-Kosten von Bahnen .....</b>                               | <b>592</b> |
| <b>16.2</b> | <b>Kostentreiber .....</b>   | <b>594</b> |
| <b>16.3</b> | <b>Kosteneinsparungspotenziale .....</b>   | <b>595</b> |
| <b>16.4</b> | <b>Differential LCC-Kosten .....</b>   | <b>596</b> |
| 16.4.1      | Kapitalwertmethode und interner Zinssatz .....   | 596        |
| 16.4.2      | Normkilometer .....  | 597        |
| 16.4.3      | Zusammensetzung der Jahreskosten .....   | 597        |
| 16.4.4      | Ergebnisse der Differenz LCC-Kostenrechnung .....  | 598        |
| <b>16.5</b> | <b>Gleiserhaltungskosten .....</b>   | <b>601</b> |
| <b>16.6</b> | <b>Auswirkungen der Mechanisierung auf die Wirtschaftlichkeit<br/>der Oberbauinstandhaltung.....</b> | <b>601</b> |
| <b>16.7</b> | <b>Trassenpreise.....</b>  | <b>603</b> |
|             | <b>Literaturverzeichnis .....</b>  | <b>604</b> |
|             | <b>Stichwortverzeichnis .....</b>  | <b>629</b> |
|             | <b>Inserentenverzeichnis .....</b>   | <b>656</b> |

# 1 Allgemeines

Das Handbuch Gleis soll erkennen lassen, dass das Gleis nicht nur aus Einzelkomponenten besteht und isoliert gesehen werden soll, sondern als „Das System Eisenbahnrad-Fahrweg“.

Das Gleis soll

- die Fahrzeuge entgleisungssicher führen,
- die vertikalen und horizontalen Fahrzeugkräfte aufnehmen,
- diese Kräfte über Gleisrost und Schotterbett in den Untergrund ableiten,
- einen guten Fahrkomfort sicherstellen und
- eine hohe Verfügbarkeit für die Produktion gewährleisten.

Das Eisenbahnrad überträgt senkrechte und horizontale Kräfte auf das Gleis. Zusätzlich unterliegt das durchgehend verschweißte Eisenbahngleis noch Längskräften aufgrund von Temperaturänderungen. Das Gleis wird durch quasistatische (niederfrequente) und höherfrequente dynamische Kraftkomponenten beansprucht.

Das Bild 1 zeigt schematisch das System Rad-Fahrweg.

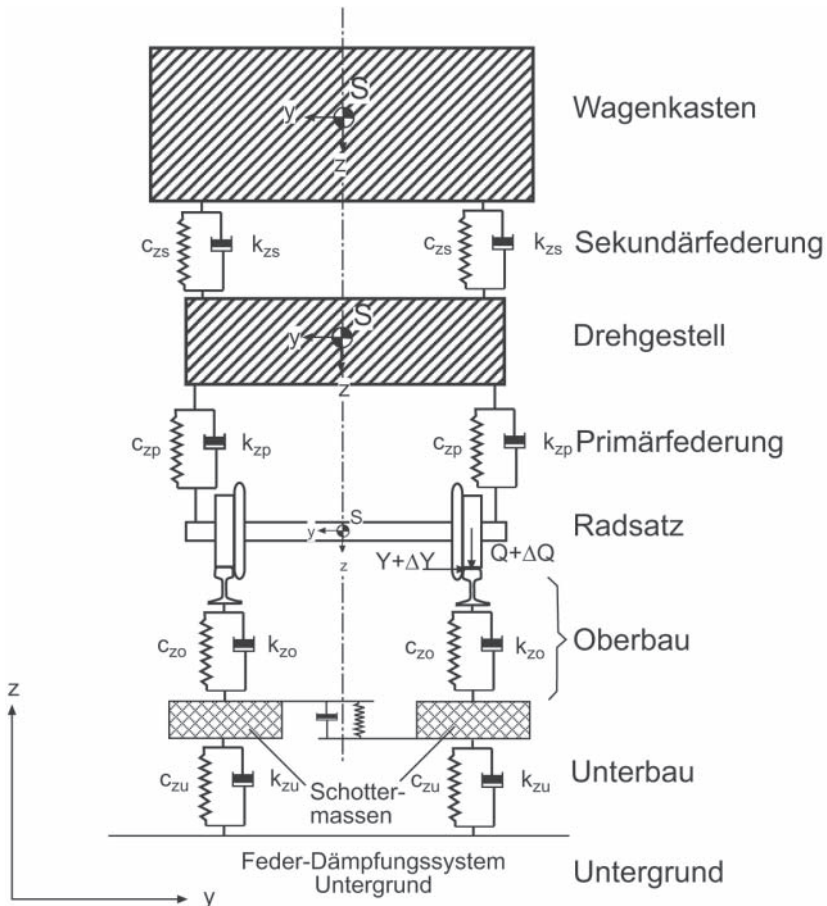


Bild 1: Schematische Darstellung des Systems Rad-Fahrweg

Die einzelnen Systemteile sind über Komponenten, die Feder- und Dämpferwirkung aufweisen, gekoppelt. Die Feder- und Dämpferelemente zwischen Wagenkasten und Drehgestell sowie zwischen Drehgestell und Radsatz sind sehr gut bekannt und ihr Verhalten ist mathematisch gut beschreibbar.

Der Fahrweg selber lässt sich in seinen elasto-plastischen Eigenschaften wegen des inhomogenen Verhaltens des Schotterbettes, der Planumsschutzschicht und des Untergrundes nicht analytisch exakt beschreiben. Es werden empirische, durch Versuche ermittelte Kenngrößen und Zusammenhänge angewendet.

Die Größe der Kräfte ist eine Funktion der Achslast, der Radlaständerungen durch Bogenfahrten oder durch ungleichmäßige Beladung, von Brems- und Anfahrvorgängen und des Abrollens unrunder unausgewuchteter Räder auf einer mit Fehlern behafteten Fahrbahn.

Diese Kräfte muss der Gleisrost so verteilen, dass die zulässigen Größtwerte der Schotterpressungen unter der Schwelle und die zulässigen Bodendruckspannungen nicht überschritten werden.

Das Bild 2 zeigt den Anstieg der Radsatzlasten und der Fahrgeschwindigkeiten im Laufe der Geschichte der Eisenbahnen. Auffallend sind der stetige Anstieg der Radsatzlasten der Güterwagen auf heute 22,5 t, in Zukunft vielleicht 25 t sowie die Zunahme der Geschwindigkeit der Reisezüge auf 250 bis 300 km/h auf Neubaustrecken. Auch im übrigen Streckennetz fahren die Züge generell schneller. Neubaustrecken werden mittlerweile auf 350 km/h ausgelegt.

Die im Nachfolgenden dargestellten theoretischen Ausführungen und praktischen Erfahrungen sollen erläutern, wie diese geschilderten höheren und zweifellos in Zukunft weiter steigenden Anforderungen erfüllt werden können.

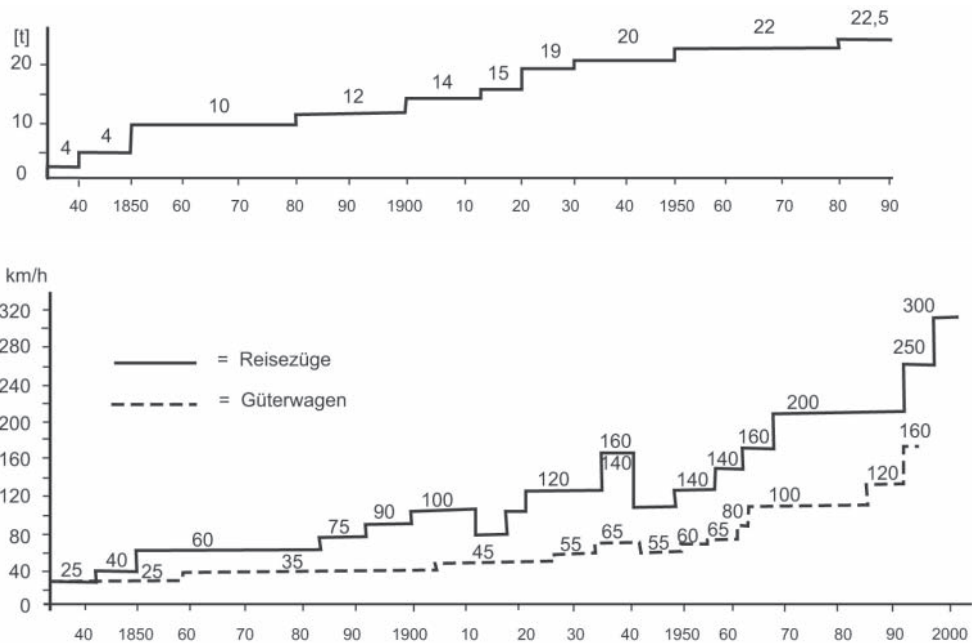


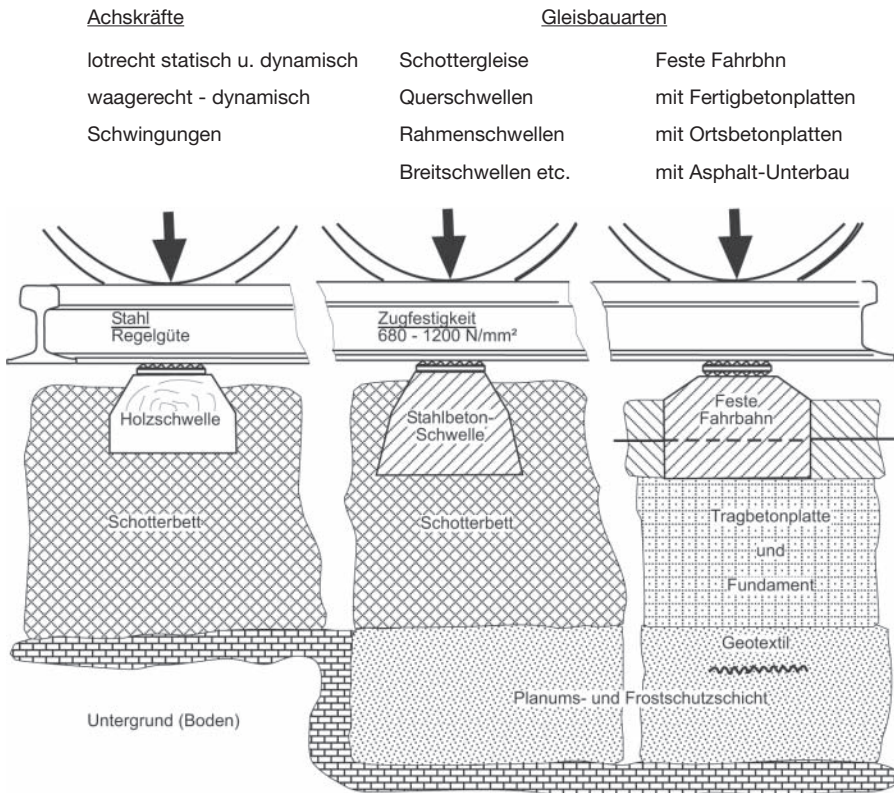
Bild 2: Zeitliche Entwicklung der Radsatzlasten und Zuggeschwindigkeiten für Reise- und Güterzüge [1]

Der nach heutigen Erkenntnissen instandhaltungsarme Oberbau für hoch belastete Gleise besteht aus folgenden Elementen:

- schwerem Schienenprofil UIC60,
- verschleißfesten Schienen im Bogen (kopfgehärtet oder hochlegiert),
- Betonschwellen für Gleise und Weichen in optimierter Ausführung (besohlte Schwellen, Breitschwellen, Rahmenschwellen, Leiterschwellengleis etc.),
- verdrehfesten und elastischen Schienenbefestigungen (Optimierung der Elastizitäten und Dämpfungen erforderlich),
- dauerstabilem Schotterbett und einem
- dauerstabilen frostsicheren Unterbau (gesichert durch Einbau von Schutzschichten und Geotextilien).

## 2 Der Aufbau des Gleises

Das Bild 3 gibt einen Überblick über den Aufbau des Gleises. Er soll zeigen, dass das Gesamtsystem nicht nur aus dem Schotterbett mit den darin „schwimmenden“ Schwellen und den darauf gelagerten Schienen besteht, sondern auch aus dem Unterbau mit seinen Schutzschichten oder verbessertem Bodenaufbau sowie dem Untergrund selbst.



**Bild 3: Der schematische Aufbau der wesentlichen Gleisformen**

Nachfolgend wird auf die einzelnen Komponenten im Speziellen und ihr Zusammenwirken im Besonderen eingegangen. Nur die hohe Qualität jeder Komponente und die optimale Abstimmung der Eigenschaften untereinander ergibt ein dauerhaftes instandhaltungsarmes Gleis.

### 2.1 Die Anlagenverhältnisse

Für die Anlagenverhältnisse ([2], [3]) ausschlaggebend sind die Grenzwerte für die Streckenneigung, die Krümmung des Gleises (Bogenradius) und die Streckengeschwindigkeit.

Die geometrische Beschreibung eines Gleises erfolgt heute hauptsächlich durch Angabe der Gleisachse. Dabei beschränkt man sich auf den Grundriss, also die Normalprojektion der die tatsächliche Gleisachse darstellenden Raumkurve auf die Horizontalebene.

Eisenbahngleise werden so konzipiert, dass sich beim Befahren mit einer bestimmten Nenn-  
geschwindigkeit die Querkomponente der Schwerkraft in der Ebene des Wagenkastenbodens  
und die Fliehkraftkomponente das Gleichgewicht halten. Damit sollen die Beschleunigungen,  
die der Fahrgast spürt, kompensiert bzw. reduziert werden.

Beim Übergang von der Geraden zu einem Kreisbogen darf der Kreisbogen nicht unmittelbar  
an die Gerade angeschlossen werden. Das plötzliche Auftreten einer Überhöhung führt zu ei-  
nem sprunghaften Höhenanstieg in den Schienen und zum anderen ergibt sich das Problem  
der Beeinträchtigung des Fahrkomforts durch die plötzlich auftretenden Zentrifugalkräfte. Die-  
se Probleme werden vermieden, wenn zwischen Gerade und Kreisbogen ein Übergangsbogen  
eingeschaltet wird. Die Krümmung der Gleisachse wächst im Übergangsbogen allmählich von  
null auf den dem Kreisbogen entsprechenden Wert  $1/R$  an. Mit der Überhöhung wird analog  
verfahren.

Konkrete Ausführungen von Übergangsbögen unterscheiden sich derzeit nur dadurch, wie die  
Krümmung der Gleisachse und die Überhöhung des Gleises von null auf ihre Endwerte an-  
wachsen. Erfolgt dieses Anwachsen linear mit der Bogenlänge des Gleises, so ergeben sich  
die allgemein bekannten Klothoidenbögen und die zugehörigen geraden Überhöhungsrampen.  
Diese stellen die in Europa derzeit häufigste ausgeführte Form dar.

Das wesentlichste Manko der derzeit üblichen Ausführung von Übergangsbogenformen ist  
das zugrunde liegende mathematische Modell. Das Fahrzeug wird dabei hinsichtlich seines  
dynamischen Verhaltens wie ein Massenpunkt behandelt, welcher sich längs der Gleisachse  
fortbewegt. Dies führt dazu, dass durch die inadäquate Modellierung wirkende Kräfte nicht be-  
rücksichtigt werden. Als eine adäquate Idealisierung wäre das Starrkörpermodell zu nennen.  
Außerdem wird im derzeit angewandten Modell nicht berücksichtigt, dass der Schwerpunkt  
des Fahrzeuges sich nicht auf der Schienenoberkante des Gleises bewegt, sondern etwa  
1–2 m darüber.

Eine hervorragende neuere Methode zur Beschreibung einer Linienführung ist die Differential-  
geometrie der Flächenstreifen [4].

Längs einer Leitkurve, gebildet durch die Gleismittellinie, wird ein begleitendes Dreibein von  
Einheitsvektoren mitgeführt, welches mit dem bewegten Fahrzeug fest verbunden ist. Dabei  
enthält der Tangentenvektor die Geschwindigkeit  $v$ , der Seitenvektor steht rechtwinkelig dazu  
und zur Leitkurve und bildet in seiner Folge den Streifen; der Normalenvektor ist orthogonal zu  
der so erzeugten Fläche gerichtet.

In diesem Koordinatensystem werden die geometrischen Größen des Streifens und die kine-  
matischen des Fahrzeuges, also Geschwindigkeiten und Beschleunigungen sowie deren Ab-  
leitungen, die Rucke, aufgestellt. Die Führung des Fahrzeuges wird in Höhe des Massenmit-  
telpunktes gedacht.

Unter diesem Ansatz gelang es, in von der ÖBB finanzierten Forschungsarbeiten [5], neue  
Übergangsbogenformen zu entwickeln, welche einen wesentlich ruhigeren Fahrzeuglauf mit  
geringeren Kräften zur Folge haben. In Österreich wurden vier Versuchsbögen mit der neuen  
Übergangsbogenform ausgestattet. Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass die Versuchsbö-  
gen bereits sechs Jahre lang keiner Instandhaltung bedürfen.

### 2.1.1 Kreisbögen und Geraden

Für die Kreisbögen und die Geraden gelten die in der Tabelle 1 angegebenen Auslegungskriterien.

| Bezeichnung                            | Parameter  |
|--|--|
| Mindestlänge der Bögen und der Geraden | $\min l = \geq 0,4 \cdot v_e$  |
| Gleisbogenradien                       | $R = \frac{11,8 \cdot v_e^2}{u_0}$<br>$R_{\max} \leq 30.000 \text{ m}$ |
| Mindestradius in Hauptgleisen          | $R \geq 300 \text{ m}$   |
| Mindestradius in übrigen Gleisen       | $R \geq 180 \text{ m}$   |

R ... Gleisbogenradius [m]

$v_e$  ... Entwurfsgeschwindigkeit [km/h]

$u_0$  ... ausgleichende Überhöhung [mm]

**Tabelle 1: Auslegungskriterien für Bögen und Geraden**

Im Gegensatz zu Europa werden die Kreisbögen in den USA nicht nach den Halbmessern R, sondern verhältnisgleich zu den Krümmungen  $\frac{1}{R}$  benannt. Die Kreisbögen werden in den USA nach „Grad“ bezeichnet. Das ist jener Winkel, welcher einer Bogenlänge von 100 Fuß = 30,48 m entspricht. Es gilt:

$$\alpha^\circ = \frac{1746}{R} \quad (R \text{ in [m]})$$

### 2.1.2 Überhöhung

Für die Überhöhung gelten die in der Tabelle 2 angegebenen Auslegungskriterien.

| Bezeichnung  | Parameter   |
|--|---|
| Herstellungsgrenzwert  | $u_{\min} = 20 \text{ mm}$  |
| Regelwert  | $u_{\text{Regel}} = 100 \text{ mm}$   |
| Zulässig im Schottergleis<br>Zulässig bei Fester Fahrbahn                | zul u = 160 mm<br>zul u = 170 mm  |
| Überhöhung auf Bahnhöfen und auf Strecken mit oftmaligem Halten der Züge | $\min u < u < \text{reg } u$<br>$\text{reg } u = \frac{7,1 \cdot v_e^2}{R}$ |
| Mindestüberhöhung min u  | $\min u = u_0 - \text{zul } u_f$  |
| Überhöhung auf Strecken mit annähernd gleichen Zuggeschwindigkeiten      | $\text{reg } u < u < u_0$   |
| Ausgleichende Überhöhung   | $u_0 = \frac{11,8 \cdot v_e^2}{R}$  |
| Planungswerte für Überhöhungsfehlbetrag $u_f$                            | $u_f = 70 \text{ mm}$<br>zul $u_f = 130 \text{ mm}$                         |

u ... Überhöhung [mm]

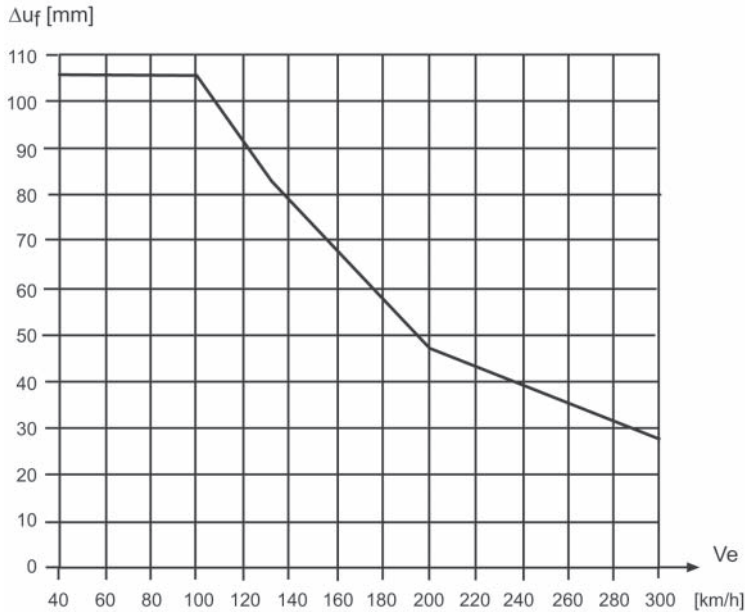
$u_f$  ... Überhöhungsfehlbetrag [mm]

reg u ... Regelüberhöhung [mm]

**Tabelle 2: Auslegungskriterien für die Gleisüberhöhung**

Die Regelüberhöhung wird so bemessen, dass für die Passagiere in schnell fahrenden Zügen ein angemessener Fahrkomfort erreicht wird. Bei der Mindestüberhöhung tritt beim Befahren des Gleises mit Streckenhöchstgeschwindigkeit die größte zulässige Seitenbeschleunigung auf.

Das folgende Diagramm gibt den für verschiedene Streckengeschwindigkeiten gültigen zulässigen Überhöhungsfehlbetrag an.



**Bild 4: Zulässiger Überhöhungsfehlbetrag abhängig von der Entwurfsgeschwindigkeit**

Die Tabelle 3 stellt den typischen Überhöhungsfehlbetrag, die maximale Neigung und die typischen größten Radien bei Schnellfahrstrecken verschiedener Länder einander gegenüber.

|                           | <i>DB AG</i> | <i>FS</i> | <i>SBB</i> | <i>SNCF</i> |
|---------------------------|--------------|-----------|------------|-------------|
| $a_f$ [m/s <sup>2</sup> ] | 0,85         | 0,85      | 0,8        | 1,0         |
| $\Delta u_f$ [mm]         | 80           | 120       | 60         | 130         |
| Max. Neigung [%]          | 12,5         | 8,5       | 30         | 35/25       |
| R [m]                     | 7000         | 3000      | 4000       | 4000/6000   |

**Tabelle 3: Ausgeführte Überhöhungen, Neigungen und Radien bei verschiedenen Bahnen für Schnellfahrstrecken**

Der Überhöhungsfehlbetrag  $u_f$  in mm lässt sich wie folgt in die unausgeglichene Seitenbeschleunigung  $a_f$  umrechnen:

$$a_f = g \cdot \frac{u_f}{s}$$

$g$  ... Erdbeschleunigung 9,81 m/s<sup>2</sup>

$s$  ... Spurweite [mm]

$a_f$  ... unausgeglichene Seitenbeschleunigung [m/s<sup>2</sup>]



Als **Standardwerk für den Schienenfahrweg** beschreibt das Handbuch Gleis in anschaulicher und komprimierter Weise die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Gleiskomponenten sowie deren Beanspruchungen.

Gegenüber der 1. und 2. deutschen Auflage enthält die 3. Neuauflage dieses Buches einige grundsätzliche Erweiterungen und neueste Erkenntnisse zu den folgenden Themen:

- Grundlagen der Oberleitung, des Oberleitungsbaus und deren Instandhaltung
- Grundbegriffe der Leit- & Sicherungstechnik
- Entstehung von Head Checks und die Verschleißfestigkeit von kopfgehärteten Schienen
- Äquivalente Konizität, Laufverhalten und Kontaktmechanik
- Entstehung und Ursachen des Schienenfahrzeuglärms sowie Auswirkung von Schienen- und Radraugigkeit auf emittierten Lärm
- Theorie des dynamischen Gleisstabilisierens
- Leistungsfähigkeit von Reinigungsmaschinen

Das Wissen und der Erfahrungsschatz aus mehr als 20 Jahren Forschungstätigkeit des Autors auf dem Gebiet des Gleisverhaltens und der optimalen Methoden der Gleisinstandhaltung dienen dem Eisenbahningenieur von heute und morgen als praktische Hilfe und nützliches Nachschlagewerk bei seiner täglichen Arbeit.

ISBN 978-3-7771-0400-3



9 783777 104003