

HANSER



Leseprobe

zu

„Planung von Bahnanlagen, 2.A.“

von Haldor Jochim, Frank Lademann

ISBN (Buch): 978-3-446-44220-7

ISBN (E-Book): 978-3-446-44894-0

Weitere Informationen und Bestellungen unter
<http://www.hanser-fachbuch.de/9783446442207>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung: Schienengebundener Verkehr	13
1.1	Stahlräder auf Stahlschienen.....	13
1.2	Spurführung	14
2	Kinematische Planungsgrundlagen.....	16
2.1	Geschwindigkeit als Planungsziel.....	16
2.2	Geschwindigkeit und Beschleunigung.....	16
2.3	Die Fliehkraft begrenzt die zulässige Geschwindigkeit	17
2.4	Ruck	19
2.5	Trassierungselemente	20
2.5.1	Gerade und Kreisbogen	20
2.5.2	Überhöhung und Überhöhungsrampe	22
2.5.3	Übergang zwischen Geraden und Bogen	25
2.5.4	Übergangsbogen.....	25
2.5.5	Längsneigungen und Neigungswechsel.....	26
2.6	Von der Trassenfindung zur Entwurfsplanung	27
2.7	Trassierungsgrundsätze.....	28
3	Trassierungsparameter für Bahnen	29
3.1	Mathematische Behandlung von Seitenbeschleunigung und Ruck	29
3.1.1	Überhöhungsnachweis	29
3.1.2	Rucknachweis	31
3.2	Grenzwerte für die Trassierungselemente	31
3.2.1	Grundsätze.....	31
3.2.2	Systematik der Planungswerte	32
3.2.3	Länge von Gerade und Kreisbogen	34
3.2.4	Radius von Kreisbogen	35
3.2.5	Überhöhung	36
3.2.6	Überhöhungsfehlbetrag.....	37
3.2.7	Übergang zwischen Trassierungselementen	38
3.2.8	Vergleichsradius	39
3.2.9	Überhöhungsrampe	40
3.2.10	Übergangsbogen.....	42
3.3	Fahrdynamisch optimierter Übergangsbogen (Wiener Bogen®).....	44
3.4	Gleisverziehungen	45
3.5	Längsneigungen und Neigungswechsel.....	48

3.6	Besonderheiten bei Neigetechnik	51
3.7	Beispielaufgaben	52
4	Trassierung von Weichen und Weichenverbindungen	62
4.1	Geometrie der einfachen Weichen	63
4.1.1	Darstellung von einfachen Weichen im Lageplan	64
4.1.2	Radien der einfachen Weichen	66
4.1.3	Weichenneigungen	67
4.1.4	Standardisierung der Weichen, Weichentabelle.....	67
4.1.5	Weichenverbindungen.....	69
4.1.6	Bemessung einer Weichenverbindung mit einfachen Weichen	70
4.1.7	Bereich durchgehender Schwellen.....	70
4.1.8	Länge von Weichenverbindungen	72
4.1.9	Weichenwahl in Bahnhöfen	74
4.2	Bogenweichen.....	75
4.2.1	Radien der Bogenweichen	76
4.2.2	Bemessung von Bogenweichen	77
4.2.3	Rucknachweis.....	80
4.2.4	Überhöhungsfehlbetrag	82
4.2.5	Praktische Bemessung von Bogenweichen	83
4.2.5.1	Stammgleis.....	83
4.2.5.2	Zweiggleis in Innenbogenweichen (IBW)	84
4.2.5.3	Zweiggleis in Außenbogenweichen (ABW)	85
4.2.6	Länge von Weichenverbindungen im Bogen.....	86
4.3	Klothoidenweichen	90
4.4	Zeichnung von Weichenverbindungen	92
4.5	Kreuzungen, Kreuzungsweichen und Doppelweichen.....	93
4.5.1	Kreuzungen	93
4.5.2	Kreuzungsweichen	94
4.5.2.1	Kreuzungsweichen mit innenliegenden Zungen.....	94
4.5.2.2	Kreuzungsweichen mit außenliegenden Zungen	95
4.5.3	Doppelweichen.....	97
4.6	Beispiele	97
5	Oberbau	107
5.1	Abgrenzung von Oberbau und Unterbau.....	107
5.2	Bauteile des Gleises	108
5.2.1	Schienen	108
5.2.2	Schwellen	109
5.2.2.1	Holzschwellen.....	109
5.2.2.2	Stahlschwellen.....	110
5.2.2.3	Betonschwellen	110
5.2.3	Schienenbefestigungen.....	110

5.2.4	Schotterbett	112
5.2.5	Schutzschichten	113
5.2.6	Entwässerung	114
5.3	Gleisbauverfahren.....	115
5.4	Feste Fahrbahn	116
5.5	Weichenbau	118
5.5.1	Starre und bewegliche Herzstückspitzen	119
5.5.2	Weichenschwellen.....	120
6	Gleisquerschnitte	121
6.1	Lichtraumprofile	121
6.2	Dimensionierung von Querschnitten	123
6.3	Gleisabstände.....	127
6.4	Fahrleitung und lichte Höhen	132
6.4.1	Bauarten	132
6.4.2	Regelbauarten der Oberleitung.....	133
6.4.3	Abspannung der Oberleitung	134
6.4.4	Überbrückung mehrerer Gleise	135
6.4.5	Mastarten	135
6.4.6	Streckentrenner und Streckentrennungen	136
6.4.7	Lichte Höhen unter Bauwerken	137
7	Bahnfahrzeuge	139
7.1	Kinematik und Fahrdynamik.....	139
7.2	Bremsen	143
7.2.1	Die Druckluftbremse.....	143
7.2.2	Reibungsbremsen	144
7.2.3	Reibungsfreie Bremsen.....	145
7.3	Kupplungen	146
7.4	Achsen und Drehgestelle.....	147
7.5	Fahrzeugkonzepte.....	147
7.5.1	Lokbespannter Zug	148
7.5.2	Triebwagenzug.....	149
7.5.3	Triebkopfzug.....	149
7.5.4	Wendezug	150
7.5.5	Züge mit Neigetechnik.....	150
8	Bahnhöfe	151
8.1	Was ist ein Bahnhof?.....	151
8.2	Fahrmöglichkeiten in Bahnhöfen	153
8.3	Grundtypen von Bahnhöfen.....	154

8.3.1	Einteilung nach dem Zweck.....	154
8.3.2	Einteilung nach der Lage im Netz	156
8.3.3	Einteilung nach der Struktur der Gleisanlagen.....	157
8.4	Verknüpfung mit anderen Verkehrsmitteln.....	158
8.5	Bahnhofsgleise	158
8.6	Anlagen des Personenverkehrs	159
8.7	Weitere Betriebsstellen	163
8.8	Abstellbahnhöfe	166
8.9	Bahnhöfe des Güterverkehrs.....	167
8.9.1	Rangierbahnhöfe: Sortieranlagen für den Wagenladungsverkehr	168
8.9.2	Knotenpunktsystem.....	170
8.9.3	Anlagen des kombinierten Verkehrs.....	170
9	Grundlagen der Signaltechnik.....	174
9.1	Signaltechnik und Sicherheit.....	174
9.2	Signalabhängigkeit	175
9.3	Bahnhof und Strecke	176
9.4	Durchrutschwege und Flankenschutz	177
9.4.1	Grenzzeichen und andere Gefahrpunkte	177
9.4.2	Länge der Durchrutschwege	179
9.4.3	Flankenschutzeinrichtungen.....	180
9.5	Rangierbetrieb.....	181
9.6	Signalssysteme und Signalbilder.....	182
9.6.1	Einfahrsignale und Ausfahrtsignale	182
9.6.2	Bremswegabstand und Blocksignale	184
9.6.3	Haupt- und Vorsignale	186
9.6.4	Plansymbole für Signale.....	186
9.6.5	Grundlegende Signalbilder für Fahren und Halten	187
9.6.6	Signalssysteme in Deutschland	187
9.6.7	Signalisierung von Geschwindigkeiten.....	190
9.7	Zugbeeinflussung	192
9.7.1	Warnsysteme und Zugbeeinflussungssysteme	192
9.7.2	Punktförmige Zugbeeinflussung (PZB 90)	193
9.7.3	Die Sicherheitsfahrerschaltung.....	196
9.7.4	Signaltechnik und Zugbeeinflussung für Hochgeschwindigkeitsverkehr.....	197
9.8	ETCS	199
9.9	Fail-Safe-Technik	200
9.10	Stellwerkstechnik.....	201

9.10.1	Zugmeldeverfahren als Grundlage der Zugsicherung	201
9.10.2	Gleisfreimeldung.....	201
9.10.3	Grundsätze der Fahrwegsicherung in Stellwerken.....	202
9.10.4	Elektronische Stellwerke	203
9.10.5	Mechanische Stellwerke.....	204
9.10.6	Elektromechanische Stellwerke.....	207
9.10.7	Relaisstellwerke	207
9.10.8	Betrieb bei Störungen.....	209
9.11	Sicherung von Bahnübergängen.....	210
10	Bahnbetrieb und Fahrpläne	213
10.1	Sperrzeiten als Basis für konfliktfreie Fahrpläne.....	213
10.1.1	Elemente der Sperrzeit.....	213
10.1.2	Sonderfall: anfahrender Zug.....	215
10.1.3	Sonderfall: haltender Zug	216
10.2	Mindestzugfolgezeiten	217
10.3	Pufferzeiten und Fahrzeitzuschläge	218
10.4	Fahrpläne	220
10.5	Betriebsqualität	221
11	Organisation und Richtlinien	223
11.1	Organisation der Bahnen in Deutschland	223
11.1.1	Eisenbahnbundesamt.....	223
11.1.2	Infrastruktur und Verkehr.....	223
11.1.3	Deutsche Bahn	225
11.2	Finanzierungsfragen.....	226
11.2.1	Eisenbahnkreuzungsgesetz	227
11.2.2	Bundesschienenwegeausbaugesetz	228
11.2.3	Regionalisierungsgesetz	228
11.2.4	ÖPNV-Gesetze der Länder.....	229
11.3	Aufbau der deutschen Richtlinien.....	230
11.3.1	Richtlinien für Eisenbahnen.....	230
11.3.2	Bahninterne Richtlinien	231
11.4	Europäische Richtlinien: Technische Spezifikation Interoperabilität (TSI)	231
11.5	Planungsrecht	232
	Literaturverzeichnis	235
	Sachwortverzeichnis.....	237

2 Kinematische Planungsgrundlagen

Die ältesten Bahnstrecken wurden weitgehend geradlinig trassiert, weil man zunächst Sorge vor Entgleisungen selbst in großen Gleisbogen hatte. Später ging man dazu über, die Trassierung aus Kostengründen der Landschaft anzupassen, etwa entlang Flüssen zu trassieren. Dies hatte auch den Vorteil, dass die Steigungen gering waren – ein Aspekt, der seinerzeit eine größere Bedeutung hatte als eine kürzere Trassierung. Zuweilen sind Bahnstrecken auch deshalb in Flusstälern trassiert worden, weil man sie im Falle eines Krieges auf diese Weise vor militärischen Angriffen schützen wollte.

2.1 Geschwindigkeit als Planungsziel

Die Fahrzeit ist ein wesentliches Merkmal für die Entscheidung über die Nutzung von Verkehrsmitteln.

In ihrer Anfangszeit im 19. Jahrhundert war die Eisenbahn konkurrenzlos schnell. Mit dem Aufkommen des Straßen- und Luftverkehrs ging dieser Vorteil zum Teil verloren. Es gibt jedoch Relationen, besonders zwischen großen Städten, in denen die Fahrzeiten der Bahn niedriger liegen als die Fahrzeiten des Pkw. Etwa bis zu einer (Bahn-)Fahrzeit von 4 Stunden ist die Bahn auch gegenüber dem Luftverkehr im Vorteil.

Unglücklicherweise stammt die Trassierung der meisten Eisenbahnstrecken aus dem 19. Jahrhundert, sodass die Trassen wegen ihrer engen Kurvenradien nicht für die heutigen hohen Geschwindigkeiten geeignet sind. Um diesem Missstand zu begegnen, können neue Strecken gebaut oder vorhandene Strecken für höhere Geschwindigkeiten ausgebaut werden.

2.2 Geschwindigkeit und Beschleunigung

In der Anfangszeit der Eisenbahn äußerten Ärzte Bedenken, ob große Geschwindigkeiten – damals 40 km/h – dem menschlichen Organismus zuträglich seien. Heute können wir sagen, dass diese Sorgen unbegründet waren. Fahrten in einem Hochgeschwindigkeitszug mit 300 km/h oder Flüge mit einer dreimal so großen Geschwindigkeit haben keinen merklichen Einfluss auf das Wohlbefinden. Allerdings nur unter einer Bedingung: Die Geschwindigkeit muss konstant sein. Anfahr- und Bremsvorgänge sowie Kurvenfahrten werden nämlich in der Tat als außerordentlich unangenehm empfunden. Alle diese Vorgänge haben etwas gemeinsam: Sie sind mit Beschleunigungen verbunden.

Bewegungen auf gerader Bahn mit konstanter Geschwindigkeit werden ebenso empfunden wie Stillstand. Beschleunigte Bewegungen wirken hingegen auf das Gleichgewichtsorgan.

Eine Beschleunigung ist eine Änderung der Geschwindigkeit über die Zeit:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}. \quad (2.1)$$

Die Einheit der Beschleunigung ist somit $\frac{m/s}{s} = \frac{m}{s^2}$.

Die physikalische Beschreibung der Fahrt eines Fahrzeugs auf gekrümmter Bahn (d.h. in einer Kurve) kann auf zweierlei Weise formuliert werden:

- Aus der Sicht eines Beobachters: Eine äußere Kraft bewirkt, dass das Fahrzeug einen Bogen befährt. Die Kraft wird vom Fahrzeug an die Insassen weitergegeben. Im Straßenverkehr wird die Kraft durch die Reibung zwischen Reifen und Fahrbahn aufgebracht; im Schienenverkehr bewirkt die Biegung des Gleises die Richtungsänderung.
- Aus der Sicht eines Insassen: Der Körper möchte der Richtungsänderung des Fahrzeugs nicht folgen und wird dadurch nach außen gedrückt. Die dabei subjektiv empfundene Kraft wird als **Fliehkraft** oder **Zentrifugalkraft** bezeichnet.

Beide Beschreibungen sind physikalisch gleichwertig. Die Sicht der Insassen eines Fahrzeugs ist anschaulicher und wird daher im Weiteren bevorzugt.

2.3 Die Fliehkraft begrenzt die zulässige Geschwindigkeit

Ein Beispiel für die Kreisbewegung eines Gegenstands ist das Schleudern eines Gewichtes durch einen Hammerwerfer. Offensichtlich muss er eine Kraft aufbringen, um den Hammer in seiner Kreisbahn zu halten. Zugleich wird auch der Betrag seiner (d.h. des Hammers) Geschwindigkeit vergrößert. Nachdem der Hammer losgelassen wird, fliegt er, wie nach dem Trägheitssatz zu erwarten, in gerader Linie. Aus dem Bewegungsablauf des Hammerwerfers lässt sich schließen, dass er die maximale Kraft in dem Augenblick aufbringt, in dem er den Hammer loslässt. Zugleich hat der Hammer in diesem Augenblick die maximale Geschwindigkeit.

Offensichtlich ist die Fliehkraft also von der Bahngeschwindigkeit des Körpers, hier des Hammers, abhängig.

Die Fliehkraft ist proportional zum Quadrat der Bahngeschwindigkeit des Körpers und umgekehrt proportional zum Radius. In mathematischer Ausdrucksweise:

$$F_z = m \cdot \frac{v^2}{r} \quad (2.2)$$

Es gibt verschiedene beschleunigte Bewegungen:

Anfahren:

Geschwindigkeitserhöhung;

Bremsen:

Geschwindigkeitsverringern;

Bogenfahrten:

Änderung des Geschwindigkeitsvektors.

Nur geradlinige Bewegungen mit konstanter Geschwindigkeit sind dem Zustand der Ruhe äquivalent. Ein Körper würde sich niemals von allein auf einer gekrümmten Bahn bewegen. Es braucht eine Kraft, um ihn dazu zu „zwingen“.

Die Begriffe „Zentrifugalkraft“ und „Fliehkraft“ sind synonym, für die entsprechende Beschleunigung ist ausschließlich der Begriff „Zentrifugalbeschleunigung“ gebräuchlich.



Bild 2.1 Wirkung der Fliehkraft im Kreisbogen ohne Überhöhung

Durch Einbau einer Überhöhung kann die Beschleunigung verkleinert oder die Geschwindigkeit vergrößert werden. Siehe dazu *Abschnitt 3.2.4*.

Würde der ICE mit einer Geschwindigkeit von 250 km/h durch einen Bogen mit dem Radius 25 m fahren, so betrüge die Zentrifugalbeschleunigung 193 m/s²! Das wäre fast das 20-fache der Erdbeschleunigung.

mit
 F_z = Zentrifugalkraft (Fliehkraft);
 m = Masse des Körpers ;
 v = Geschwindigkeit des Körpers;
 r = Radius der Kreisbahn.

Verdoppelt sich die Geschwindigkeit, so vervierfacht sich die Fliehkraft. Verringert sich der Radius auf die Hälfte, so verdoppelt sich die Fliehkraft.

Da jede Kraft als Produkt von Masse und Beschleunigung ausgedrückt werden kann, gilt für die Zentrifugalbeschleunigung:

$$a_z = \frac{F_z}{m} = \frac{v^2}{r} \quad (2.3)$$

Beispiel 2.1

Eine Straßenbahn befährt einen engen Bogen mit einem Radius von 25 m mit einer Geschwindigkeit von 20 km/h. Wie groß ist die Zentrifugalbeschleunigung, die auf die Fahrgäste wirkt?

Lösung:

Mit $v = 20 \text{ km/h} = 5,55 \text{ m/s}$ und $r = 25 \text{ m}$ folgt:

$$a_z = \frac{F_z}{m} = \frac{5,55^2}{25} = 1,23 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

(Anmerkung: Durch die Wirkung der Federung neigt sich das Fahrzeug im Bogen nach außen (siehe Bild 2.1). Aus diesem Grund ist die Zentrifugalbeschleunigung in der Realität etwas größer als hier berechnet.)

Beispiel 2.2

Ein ICE-Zug fährt durch einen Bogen mit dem Radius 5000 m. Er fährt mit einer Geschwindigkeit von 250 km/h. Wie groß ist die Zentrifugalbeschleunigung, die auf die Fahrgäste wirkt?

Lösung:

Mit $v = 250 \text{ km/h} = 69,4 \text{ m/s}$ und $r = 5000 \text{ m}$ folgt:

$$a_z = \frac{F_z}{m} = \frac{69,4^2}{5000} = 0,96 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

2.4 Ruck

Unter einem Ruck versteht man eine Änderung der Beschleunigung.

Beispiel für einen Ruck: der Augenblick, in dem ein bremsendes Fahrzeug anhält. Vor dem Anhalten wirkt eine Verzögerung (negative Beschleunigung), die beim Stand des Fahrzeugs auf Null abfällt.

Beim Übergang von einer geradlinigen in eine Kreisbewegung tritt ebenfalls ein Ruck auf, weil eine Beschleunigung einsetzt. Dies ist der Augenblick, in dem im Speisewagen der Kaffee in der Tasse überschwappt.

Mathematisch ist der Ruck κ die Ableitung der Beschleunigung nach der Zeit:

$$\kappa = \frac{da}{dt} \quad (2.4)$$

In einem realen Fahrzeug wird das Differential dt nicht infinitesimal klein, weil die Achsen den Anfangspunkt des Bogens nicht alle gleichzeitig befahren; außerdem bewirkt die Federung eine Verzögerung bei der Kraftübermittlung.

Deshalb reicht es für den praktischen Gebrauch aus, mit einem endlichen Δt zu rechnen. Bei der Eisenbahn ist es üblich, lediglich die Differenz Δa ohne expliziten Bezug auf die Zeitspanne, in welcher der Wechsel der Beschleunigungen stattfindet, anzusetzen.

In der Praxis der Trassierung wird die Beschleunigung a durch eine anschaulichere Größe ersetzt (siehe *Abschnitt 3.1.2*).

Beispiel 2.3

Ein ICE-Zug fährt durch einen Bogen mit dem Radius 5000 m. Er fährt mit einer Geschwindigkeit von 250 km/h. Wie groß ist die Änderung der Zentrifugalbeschleunigung, die am Anfang des Bogens auf die Fahrgäste wirkt, wenn zuvor eine Gerade durchfahren wurde?

In diesem Beispiel wird noch nicht von der Möglichkeit Gebrauch gemacht, die Gleise in Querrichtung zu neigen. Siehe dazu *Abschnitt 2.5.2*.

Lösung:

Mit $v = 250 \text{ km/h} = 69,4 \text{ m/s}$ und $r = 5000 \text{ m}$ folgt:

$$\Delta a = a_{\text{Bogen}} - a_{\text{Gerade}} = a_{\text{Bogen}} - 0 = \frac{69,4^2}{5000} = 0,96 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Die zuträglichen Grenzen für die Beschleunigungsdifferenz liegen in einer ähnlichen Größenordnung wie die Grenzen für die Beschleunigung selbst: Im Bereich um $\Delta a = 1 \text{ m/s}^2$ schwappt das Getränk noch nicht über. Auf schnell befahrenen Strecken werden noch engere Grenzen als im obigen Beispiel gesetzt, weil Fahrgäste dort nicht mit plötzlichen Beschleunigungsänderungen rechnen. Bei großen Geschwindigkeiten wird die Ruckbe-

schränkung maßgebend, weil sie dann engere Grenzen setzt als die Beschränkung der Seitenbeschleunigung.

Um diesen unerwünschten Effekt zu vermeiden, gibt es unter Umständen die Möglichkeit, einen **Übergangsbogen** einzufügen. Diese besondere Form des Bogens beginnt mit einem unendlich großen Radius; bei Durchfahren des Übergangsbogens wird der Radius sukzessive verkleinert. Auf diese Weise wird die Beschleunigungsveränderung auf eine größere Länge und eine größere Zeit verteilt.

Die Verwendung und Bemessung von Übergangsbogen wird ausführlich in den *Abschnitten 2.5.4* und *3.2.7* erläutert.

2.5 Trassierungselemente

Der Fahrweg einer Bahn wird auch als „Trasse“ bezeichnet. „Trassierung“ ist das Ergebnis der Planung einer Trasse oder auch der ingenieurtechnische Prozess, der zu dem Ergebnis führt. Geometrische Elemente, die in der Trasse Anwendung finden, sind Trassierungselemente. Trassierungselemente im Grundriss sind Geraden, Kreisbogen und Übergangsbogen. Zu den im Aufriss zu betrachtenden Trassierungselementen gehören Längsneigungen („Steigung/Gefälle“).

Das **Betriebsprogramm** ist eine Vorstufe zum Fahrplan. Es enthält die wunschgemäßen Ankunfts- und Abfahrtsdaten sowie Fahrzeiten der Züge. Quelle des Betriebsprogramms sind Marktstudien der Verkehrsunternehmen.

Bei der Wahl der Trassierungselemente sind unter anderem die langfristige Nutzung der Strecke, die zum Einsatz kommenden Fahrzeuge und das **Betriebsprogramm** zu berücksichtigen.

Die bei den Bahnen angewendeten Trassierungselemente werden in den folgenden Abschnitten kurz vorgestellt. Konkrete Bemessungsparameter werden in *Kapitel 3* behandelt.

2.5.1 Gerade und Kreisbogen

Geraden und Kreisbogen sind die Grundelemente der Trassierung im Grundriss, Längsneigungen sind die Grundelemente im Aufriss.

Die Gerade ist die kürzeste Verbindung zwischen zwei Punkten. Sie erlaubt die kürzeste Fahrzeit sowie die geringsten Baukosten. Aus diesem Grund wird die Verwendung von Geraden in der Trassierung bevorzugt. In der modernen Straßenplanung werden Geraden nicht gern gesehen, weil sie auf die Fahrer einschläfernd wirken und in Verbindung mit Übergängen von Gefälle- in Steigungsstrecken zu falschen Entfernungseinschätzungen führen. Diese Nachteile sind bei den Bahnen nicht von Bedeutung. Bei den Bahnen ist die Gerade daher das zu bevorzugende Trassierungselement.

Ausschließlich mit Geraden zu trassieren ist in der realen Welt niemals möglich. Wenn eine Trasse von A nach B herzustellen ist, müssen die zwischen den beiden Orten liegenden Hindernisse umgangen werden. Es entsteht eine Abfolge von Geraden und Bogen, die Bogen sind dabei in der

Regel Kreisbogen mit konstantem Radius. Sehr vereinfacht ist dies in *Bild 2.2* dargestellt. Kürzere Abfolgen von Geraden und Kreisbogen als hier dargestellt sind ebenfalls üblich.

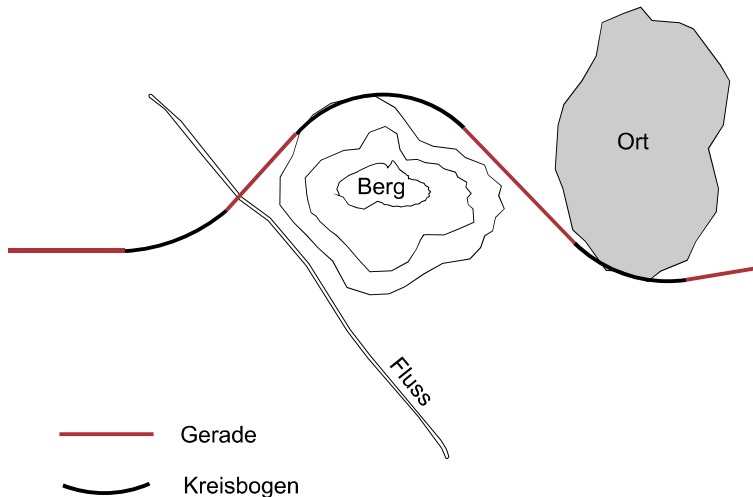


Bild 2.2 Grobtrassierung mit Geraden und Kreisbogen

Bei der Fahrt durch einen Kreisbogen wirkt auf die Fahrzeuge und Reisenden eine konstante Fliehkraft. Wenn diese zu groß ist, kann dies drei unangenehme Konsequenzen haben:

- Komfortbeeinträchtigung der Reisenden, Verrutschen von Ladung;
- Entgleisung;
- Kippen des Fahrzeugs.

Die Komfortbeeinträchtigung der Reisenden tritt bereits bei deutlich kleineren Kräften ein als Entgleisung und Kippen. Die übliche Komfortgrenze für die Seitenbeschleunigung (als masseunabhängiger Ausdruck für die Fliehkraft) liegt bei etwa 1 m/s^2 . Die Grenzwerte, ab denen mit **Entgleisen** bzw. Kippen des Fahrzeugs zu rechnen ist, liegen wesentlich höher (siehe *Bild 2.3*).

Da die auftretende Seitenbeschleunigung im Kreisbogen von Radius und Geschwindigkeit abhängt, entscheidet das Verhältnis beider Werte über die Zulässigkeit einer Trassierung.

Der Radius steht dabei im Nenner, was mitunter für das Rechnen hinderlich ist, weil in Geraden $r = \infty$ gilt. Aus diesem Grunde wird für Rechenaufgaben besser die **Krümmung k** verwendet. Sie ist definiert als der Kehrwert des Radius. In der Geraden ist $k = 0$. $k \rightarrow \infty$ würde einen Knick darstellen und kommt daher in der Trassierung nicht vor.

In *Bild 2.2* ist die klassische wirtschaftliche Trassierung dargestellt: Die Bahnstrecke überquert den Fluss im rechten Winkel, um die Länge der Brücke zu minimieren. Die Trassierung um den Berg herum verringert die Längsneigungen und den Aufwand weiterer Kunstbauten, die Umgehung des Ortes vermeidet Konflikte mit Betroffenen und vorhandener Bausubstanz. Auf der anderen Seite führt diese Trassierung unter Umständen in den Bogen zu Einschränkungen der zusätzlichen Geschwindigkeit. Eine aufwendigere Trassierung mit längeren Brücken und Tunneln würde diesen Nachteil vermeiden. Die Entscheidung darüber ist unter **wirtschaftlichen** Gesichtspunkten nach einem Vergleich von Kosten und Nutzen verschiedener Varianten zu treffen.

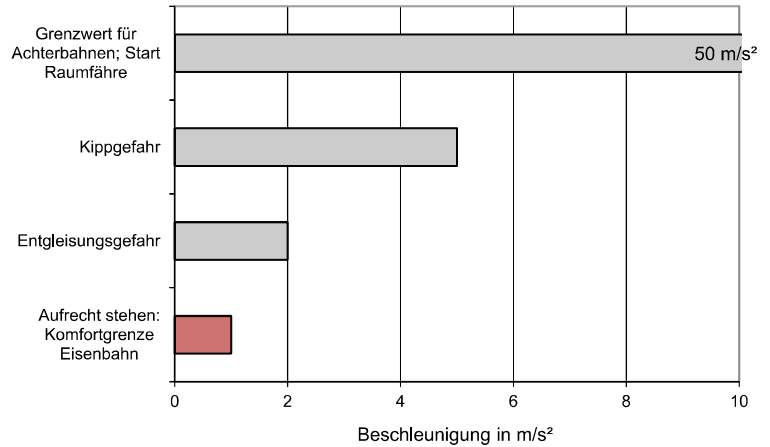


Bild 2.3 Folgen von Seitenbeschleunigungen

Weil es bei den Eisenbahnen nur große Radien $> 150 \text{ m}$ gibt, wird der Kehrwert von r mit 1000 multipliziert: $k = \frac{1000}{r}$. Dies hat den Vorteil, dass bei den Rechnungen nicht zu viele Nachkommastellen mitgeführt werden müssen. Zur Vermeidung von Rundungsfehlern darf bei der Planung erst nach der dritten Nachkommastelle von k gerundet werden.

2.5.2 Überhöhung und Überhöhungsrampe



Bild 2.4 Fahrt in überhöhtem Kreisbogen, Überhöhung $\leq 100 \text{ mm}$

Ein Radfahrer legt sich in der Kurve nach innen. Dadurch wirkt eine Komponente seiner Gewichtskraft der Zentrifugalkraft entgegen, sodass diese sich verringert und bei gleichem Radius eine höhere Kurvengeschwindigkeit erreicht werden kann.

Es gibt einige Züge, die sich selbst „in die Kurve legen“ können (Neigetechnik, siehe *Kapitel 3.6*). Bei diesen Zügen wird im Bogen der Wagenkasten angehoben. Die damit erreichbaren Geschwindigkeitserhöhungen sind jedoch bescheiden, und die Beschaffungskosten dieser Züge sind hoch.

Man kann die Neigung eines Zuges im Kreisbogen aber auch dadurch erreichen, dass man das Gleis entlang seiner Längsachse neigt. Dazu wird die äußere Schiene einige Zentimeter höher als die innere Schiene eingebaut. Diesen Höhenunterschied nennt man **Überhöhung**.

Wie groß die Überhöhung sein muss, hängt unter anderem von der Geschwindigkeit des Fahrzeugs und dem Radius des Kreisbogens ab und wird in *Abschnitt 3.1.1* hergeleitet.

In Deutschland wird die innere Schiene in konstanter Höhe belassen und die äußere Schiene angehoben. Nachteil dieser Lösung ist die fühlbare Anhebung des Wagenkastens auf der Außenseite des Gleises. Eine Drehung des Gleises um ihre Mittelachse analog dem Vorgehen beim Straßenbau vermeidet diesen Nachteil, wird aber in Deutschland wegen des Mehraufwands bei der Absteckung und beim Einbau nicht angewendet.

Das Trassierungselement wird als **Überhöhungsrampe** (gelegentlich auch kurz als „Rampe“) bezeichnet. Die einfachste Variante ist dabei, die äußere Schiene **linear** anzuheben. Im Aufriss ergibt sich dadurch das Höhenbild der beiden Schienen entsprechend **Bild 2.6**: Die rechte Schiene verbleibt in der Rechtskurve in ihrer ursprünglichen Höhenlage, während die linke Schiene allmählich angehoben wird. Alternativ kann auch eine nicht-lineare („geschwungene“) Rampenform mit expliziter Berechnung des Ausrundungsbereiches gewählt werden. Siehe dazu **Abschnitt 3.2.6**.

Am Anfang und am Ende der Rampe ändert sich die Anrampungsneigung plötzlich. Der „Knick“, der dadurch im Gleis entsteht, wird beim Einbau ohne rechnerischen Nachweis ausgerundet. Folgten zwei Rampen in zu kurzem Abstand einander, so würden sich die Ausrundungsbereiche überschneiden. Deshalb muss zwischen zwei Rampen, jedenfalls sofern die Anhebung des Gleises linear erfolgt, eine Zwischengerade eingefügt werden (siehe **Bild 2.6**). Als Sonderlösung für eine Trassierung ohne Zwischengerade kann die **Gleisschere**, auch **Scherenrampe** genannt, angewendet werden. Bei dieser Lösung wird die äußere Schiene abgesenkt und die innere parallel dazu angehoben (siehe **Bild 2.6** rechte Spalte).



Bild 2.5 Überhöhung im Kreisbogen (im Bau)

Legende

- r: Radius [m]
- u: Überhöhung [mm], die dargestellten Werte sind nur Beispielwerte!
- Planung: _____
- Unter Betrieb: _____
- UA: Übergangsbogenanfang
- UE: Übergangsbogenende
- RA: (Überhöhungs-) Rampenanfang

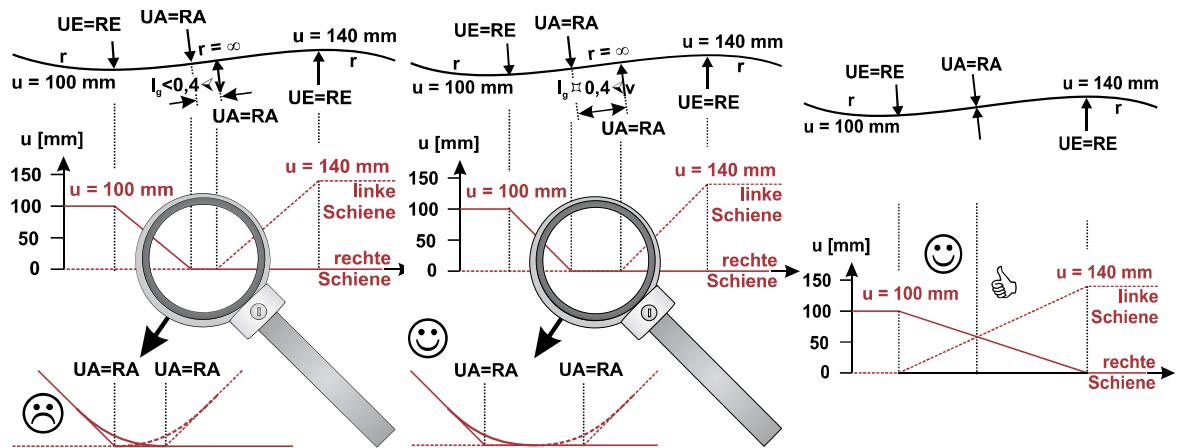


Bild 2.6 Links: nicht zulässig: Zwischengerade zu kurz; Mitte: zulässig mit Zwischengerade. Rechts: zulässig ohne Zwischengerade (Gleisschere)

Der Übergangsbogen soll mit der Überhöhungsrampe zusammenfallen, damit die Krümmung in gleicher Weise zunimmt wie die Überhöhung. Würde der kürzere Übergangsbogen nicht auf die Länge der längeren Überhöhungsrampe gestreckt, so würde die Überhöhung schon in der Geraden beginnen. Der Beschleunigungsverlauf würde so aussehen wie in *Bild 2.7 rechts*. Die Zusammenlegung von Überhöhungsrampe und Übergangsbogen führt zu einem höheren Fahrkomfort. Das rechnerisch kürzere der beiden Trassierungselemente wird auf die Länge des längeren gestreckt. In den meisten Fällen ist die Überhöhungsrampe rechnerisch länger (siehe dazu *Kapitel 3.2*).

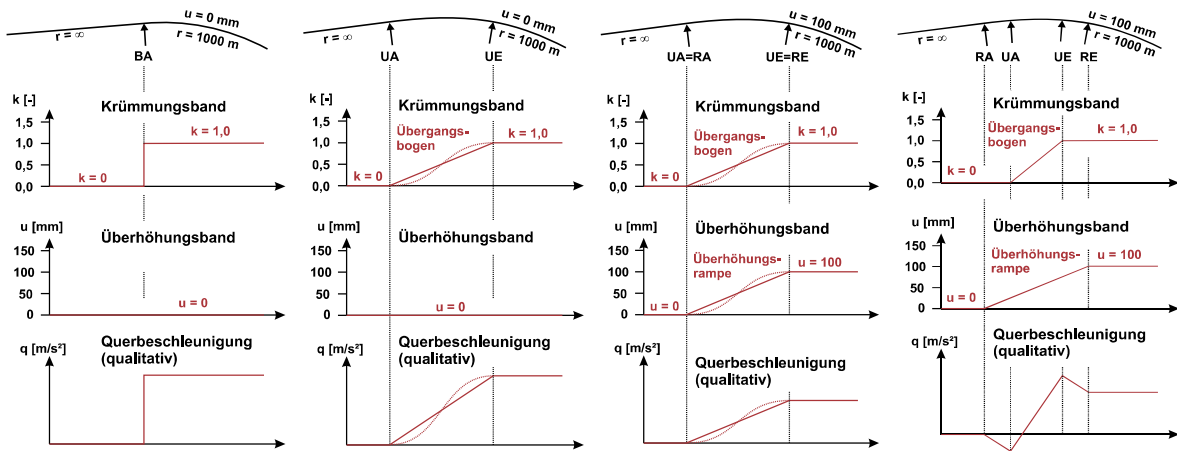


Bild 2.7 Krümmungs- und Beschleunigungsverlauf beim Übergang zwischen Gerade und Kreisbogen

Links: ohne Übergangsbogen; **2. von links:** ohne Überhöhung mit Übergangsbogen; **3. von links:** ohne Überhöhung mit Übergangsbogen und Überhöhung; **rechts:** Übergangsbogen kürzer als die Überhöhungsrampe (zu vermeiden)

Legende

- r: Radius [m]
- u: Überhöhung [mm]
- k: Krümmung [-] ($=1000/r$)
- q: Querschleunigung [m/s^2]
- UA: Übergangsbogenanfang
- UE: Übergangsbogenende
- RA: (Überhöhungs-) Rampenanfang
- RE: (Überhöhungs-) Rampenende

Übergangsbögen und Überhöhungsrampen

- Übergangsbogen mit gerader Krümmungslinie bzw. gerader Überhöhungsrampe ———
- Übergangsbogen mit geschwungener Krümmungslinie bzw. geschwungener Überhöhungsrampe (dotted line)

Legende und Erläuterung zu Bild 2.7

Der Abstand zwischen dem Tangentenschnittpunkt und dem Anfang sowie dem Ende des Kreisbogens wird als Tangentenlänge bezeichnet. Die Tangentenlänge beträgt

$$l_t = r \cdot \tan \frac{\alpha}{2}. \quad (2.5)$$

Dabei sind r der Radius des Kreisbogens und α der in *Bild 2.8* angegebene (spitze) Winkel zwischen den Tangenten.

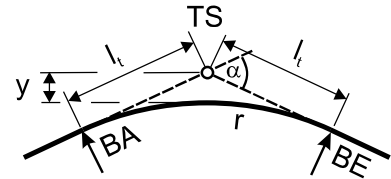


Bild 2.8 Darstellung eines Bogens im Lageplan

2

2.5.3 Übergangsbogen

Beim unmittelbaren Übergang von der Geraden in den Kreisbogen und umgekehrt (Abschn. 2.5.3) ist die plötzliche Änderung des Radius unangenehm spürbar. Um diese Form des Rucks zu vermeiden, ist es üblich, einen Bogen einzuschalten, der am Ende der Geraden mit dem Radius $r = \infty$ ($k = 0$) beginnt und am Beginn des Bogens mit dem Bogenradius endet. Theoretisch kommen für diesen Zweck verschiedene Bogenformen in Frage. Am gebräuchlichsten ist die auch im Straßenbau verwendete Klothoide. Bei ihr wächst die Krümmung linear mit der Länge (**lineare Krümmungslinie**). Daneben gibt es auch geschwungene Krümmungslinien, die in *Abschnitt 3.2.7* näher betrachtet werden.

In *Bild 2.7* ist auch der Krümmungsverlauf von Übergangsbogen, die als Klothoide ausgeführt sind, in Form von Krümmungsbildern dargestellt. Anhand der Krümmungsbilder zeigt sich der Vorteil durch die Verwendung der Krümmung anstelle des Radius: Auf der x -Achse ist die Kilometrierung der Strecke dargestellt, auf der y -Achse wird die Krümmung abgetragen. In der Geraden ist die Krümmung Null (Radius unendlich groß), im Kreisbogen hat die Krümmung einen von Null verschiedenen, konstanten Wert (entspricht konstantem Radius); dazwischen wächst die Krümmung linear an. Wäre kein Übergangsbogen vorhanden, so würde die Krümmung sprunghaft anwachsen (vgl. *Bild 2.7 links*).

Längs jeder Bahnstrecke sind Kilometerangaben angebracht (Kilometrierung). In der Richtung wachsender Kilometerangabe gilt die Krümmung einer Rechtskurve als positiv, die Krümmung einer Linkskurve als negativ.

Am Beginn und am Ende des Übergangsbogens tritt zwar kein Krümmungssprung und damit auch kein Ruck auf, wohl aber wegen des Knicks im Krümmungsverlauf eine plötzliche Änderung der Krümmungsänderung. Mit nichtlinearen Formen des Übergangsbogens lassen sich diese Knicke vermeiden. Für den Fahrkomfort spielt dies jedoch eine geringe Rolle.

Sachwortverzeichnis

A

Ablaufberg 168f
 Abrückmaß 26, 44, 48
 Abspannmast 134f
 Abspannung 134, 136
 Abstellbahnhof 166
 Abzweigstelle 90f, 163, 174, 182f
 Achszähler 201f
 Akkutriebwagen 132
 Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG) 231
 Andreaskreuz 211, 227
 Annäherungsfahrzeit 214ff, 218
 Anrampungsneigung 23, 41
 Aufsetz-IBP-Mast 135
 Aufsetzwinkelmast 135f
 Ausfahrgruppe 169, 172f
 Ausfahrtsignal 179f, 182ff, 191, 215
 Ausführungsplanung 27
 Ausleger 135f
 Ausnahmewert 50
 Ausrundungsbereich 23
 Außenbogenweiche 45, 75f, 78f, 81, 85, 88f, 100, 102ff
 Automatic Train Control (ATC) 192f
 Automatic Train Protection (ATP) 192f, 196
 automatische Fahr- und Bremssteuerung (AFB) 198
 automatische Freimeldeinrichtung 212

B

Backenschiene 76, 118
 Bahnhof 68f, 72, 74, 91, 96f, 109, 116, 133, 135, 137, 151ff, 163ff, 178f, 182ff, 190ff, 199, 201ff, 210f, 215f, 218, 221f
 Bahnhofsblock 206f
 Bahnübergang 37, 175, 190, 207, 211ff, 228
 Bake 200, 228
 Balise 200
 Bau- und Betriebsordnung für Straßen-

bahnen (BOStrab) 231
 Baugesetzbuch 234
 Befehl 198, 204ff, 210f
 Begegnungsbahnhof 154, 156
 Beharrungsgeschwindigkeit 26
 behinderungsfrei 217f, 221
 Bergbremse 169
 Beschaffungskosten 22
 Beschleunigung 13, 16ff, 24, 27, 29ff, 34, 36f, 39, 43, 49ff, 66, 80, 82, 100, 139ff, 149f, 218
 Beschleunigungsänderung 19, 27, 52
 Beschleunigungsdifferenz 19, 39
 Betriebsprogramm 20, 28, 154
 Betriebsüberholungsgleis 158
 Betriebszentrale 204
 Bitumenbauweise 117
 Blockabschnitt 185, 217
 BLOSS-Rampe 40, 42, 44f
 Bogenkreuzung 83, 93
 Bogenkreuzungsweiche 83
 Bogenradius 25, 32, 35, 76, 78, 82, 147
 Bogenweiche 45, 63, 66, 68, 75ff, 85ff, 92f, 98, 100, 102ff
 Bremse 13, 17, 19, 48, 143ff, 152, 168f, 184, 188, 190, 200f
 Bremsprobe 144, 169
 Bundesschienenwegeausbaugesetz (BSchWAG) 226, 228

C

Container 167, 170ff

D

Deutsche Bahn 32f, 36, 40, 52, 63, 116, 209, 219, 224ff, 228, 231
 Deutsche Bundesbahn 225, 229ff
 Deutsche Reichsbahn 225, 229
 Drehgestell 15, 35, 41, 44, 145, 147, 149

Dr-Stellwerk 208f
 Druckluftbremse 143f
 Durchgangsbahnhof 154, 156
 Durchrutschweg 177ff, 184f, 192, 194f, 202, 215, 216, 218

E

Einfahrgeschwindigkeit 179f, 191
 Einfahrgruppe 168
 Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) 33f, 36f, 42, 48, 152, 162, 231f
 Eisenbahnbundesamt (EBA) 34, 223, 225, 228, 230
 Eisenbahn-Infrastrukturunternehmer (EIU) 149, 153, 223ff, 228
 Eisenbahn-Signalordnung (ESO) 230f
 Eisenbahnüberführung 227
 Eisenbahn-Verkehrsunternehmen (EVU) 223ff
 Elektronisches Stellwerk 203f, 206ff
 Entwässerung 72, 114, 123
 Entwurfsplanung 27
 Ermessensgrenze 33f, 36ff, 40, 42, 44, 50, 52, 60, 82, 98
 Ersatzsignal 210
 European Train Control System (ETCS) 199f, 231

F

Fahrdienstleiter 205ff
 Fahrdrabt 132f, 145
 Fahrdrabtklemme 133
 Fahrdynamik 139, 147
 Fahrleitung 123, 132f, 190, 199
 Fahrplan 20, 122, 139, 152ff, 181, 190, 213ff, 226, 231
 fahrplanunabhängig 222
 Fahrstraße 175, 180f, 183, 193, 202f, 204, 206ff, 213f, 216
 Fahrstraßenauflösezeit 213f
 Fahrstraßenbildezeit 213f

Fahrweg 13f, 20, 29, 63, 107, 152f, 169, 174ff, 179ff, 184ff, 190, 192f, 200, 203ff, 208f, 214, 224, 226
 Fahrzeit 16, 20, 28, 34, 112, 139ff, 154, 186, 190, 198, 213ff, 218ff
 Fahrzeugbegrenzungslinie 121
 Fahrzeugkonzept 147f
 Fail-Safe-Technik/Prinzip 200ff, 208, 209
 Federbügel 111
 Fernüberwachung 211
 Feste Fahrbahn 37, 60f, 112, 114, 116f
 Flankenfahrt 179f
 Fliehkraft 15, 17f, 21, 27, 29, 35
 Fließverfahren 172f
 Flügelzugkonzept 149
 Folgeverspätung 218, 220f
 Formsignal 178, 187ff, 191, 194, 200, 204
 Freimeldeeinrichtung 211
 Frostschuttschicht 107, 113

G

Ganzzug 167
 Gefälle 20, 26, 48, 168f, 179
 Gemeindeverkehrsfinanzierungsge-
 setz (GVFG) 226, 229
 Gerade Überhöhungsrampe 41f, 44
 Geschwindigkeits-Zugkraft-Diagramm
 142
 geschwungene Überhöhungsrampe
 40, 42
 Gleisabstand 45f, 71ff, 87f, 93, 100,
 120, 123, 127ff, 135, 155, 185
 Gleisanlage 114, 154, 157, 166f, 192,
 204
 Gleisbauverfahren 115
 Gleisbildstellwerk 208
 Gleisbogen 14, 16, 35, 66f, 69f, 74,
 88, 105, 178
 Gleisquerschnitt 121
 Gleisschotter s. Schotterbett
 Gleissperre 181
 Gleisstromkreis 108, 202f
 Gleistragplattensystem 117
 Gleisverbindung 69, 91f, 172
 Gleisverziehung 45ff, 155
 Gleiswechsel 69f, 88, 185
 Gleitreibung 13, 147f

Grenzzeichen 177f
 Güterverkehr 26, 48, 97, 115, 144,
 146, 148, 167f, 172, 224ff

H

H-Tafel 185
 Haftreibung 13, 141f, 150
 Hauptgleis 35, 130, 136, 157f, 191,
 199
 Hauptpersonenzuggleis 158
 Hauptsignal 174, 183ff, 212ff
 Heißläuferortungsanlage 144
 Herzstück 64ff, 76, 83, 93ff, 103f, 107,
 119f
 Herzstückspitze 67, 69, 83, 93, 103f,
 119f, 158
 Holzschwelle 109ff, 120

I

interoperabilität 127, 231
 induktive Zugbeeinflussung (INDUSI)
 194
 Innenbogenweiche 75f, 78, 81, 86,
 88f, 102ff

K

Kettenwerksüberleitung 132
 Kilometrierung 25, 79
 Kinematik 139
 kinematischer Regellichtraum 121
 Klammerspitzenverschluss 118
 Klemmplatte 111
 Klothoide 25f, 42, 45, 90f
 Klothoidenweiche 80, 83, 90ff
 Klotzbremse 144
 Knotenbahnhof 170
 Knotenpunktsystem 170
 kombinierter Verkehr 167, 170ff
 Kopfbahnhof 154, 56, 180
 Kreisbogen 18, 20ff, 34f, 41, 45f, 49f,
 53, 63, 66, 69, 74, 76, 90f, 97
 Kreuzung 36f, 63, 83, 93ff, 107, 153ff,
 163, 174, 198f, 221, 227
 Kreuzungsbahnhof 154ff
 Kreuzungsweiche 36f, 63, 83, 93ff

Krümmung 21, 24f, 41ff, 53, 56, 59,
 61, 67, 73, 75ff, 84ff, 94, 100, 102
 Krümmungssprung 25, 43
 Ks-System 188ff, 191
 Kupplung 35, 72, 146f, 150, 168
 Kurvengeschwindigkeit 22
 Kurvenradien 16

L

Lageplan 25f, 53, 64f, 68, 75, 91f,
 153, 159, 177f, 186f
 Langsamfahrstelle 112, 140f, 188,
 210, 219
 Längsneigung 20f, 26f, 48f, 58, 138f,
 218, 232
 Längsspannweite 128, 134
 lichte Höhe 129, 132f, 137f
 Lichtraum(-profil) 121ff, 127, 137, 162
 Linienbetrieb 154, 157
 Linienzugbeeinflussung (LZB) 198ff
 Lokbespannter Zug 148, 150
 Loop 200
 LZB 198ff

M

Magnetschienenbremse 143, 145
 Mechanisches Stellwerk 68, 202f,
 204, 206f, 214
 Mehrabschnittssystem 189f, 198
 Mindestlänge 34, 39, 41, 43f, 46, 53,
 57, 73f
 Mindestzugfolgezeit 217ff, 221f

N

Nachordnungsgruppe 169
 Nahüberwachung 211
 Nebengleis 88, 108, 128, 159
 Neigetechnik 22, 51f, 58, 150
 Neigungswchsel 26f, 48, 57
 nichtbundeseigene Eisenbahn 223
 nichttechnische Sicherung 210
 Nutzbremse 143, 145

O

Oberbau 36f, 52f, 60, 107, 111ff, 116f, 123, 126, 228
Oberleitung 14, 132ff
Oberleitungsportal 135
Öffentlicher Nahverkehr 163, 228f
Organisation 213, 223

P

PANDROL 111
Personenbahnhof 166
Planfeststellung 223, 232f
Planumsschutzschicht 107, 113ff
pneumatische Bremse 143
Pufferzeit 218ff
Punktförmige Zugbeeinflussung (PZB 90) 193ff, 200f

Q

Querschnitt 116, 120f, 123ff, 136
Querseil 135
Quertragwerk 135f

R

Radlenker 35, 64, 108, 119
Rampe 22ff, 33f, 38ff, 44, 50, 52ff, 72, 88, 98, 121, 162, 168, 171
Rangierbahnhof 167ff, 172
Rangierfahrt 151f, 163, 172, 176, 178, 180ff, 187, 203
Rangierstraße 181, 203
Räumfahrzeit 213f, 218
Räumungsprüfung 209
Reaktionszeit 184, 216
Redundanz 200
Regelbauart der Oberleitung 133
Regelwert 33f, 36f, 42, 50, 56, 73, 82
Regionalisierungsgesetz 226, 228
Reibungsbremse 144f
reibungsfreie Bremsen 143, 145
Rheda 116f
Richtungsbetrieb 154, 157, 164, 221
Richtungsgleis(-bremse) 169
Rillenfahrdracht 132
Rollreibung 13, 148, 167

Rollwiderstand 14
Ruck 19f, 25, 29, 31, 40, 46, 70, 80ff, 84ff, 89ff, 97ff
Ruckbeschränkung 19f
Rucknachweis 31, 40, 46, 70, 80f, 84ff, 89f, 94ff

S

Satellit 170
Sattelanhänger 171
Schaltgruppe 136f, 208
Scharfenbergkupplung 146f
Scheibenbremse 1404
Schienenauszug 36f, 83
Schienenbefestigung 110f, 117, 120
Schienennagel 111
Schleifbügel 132
Schleifstück 133
Schlusslicht 146, 209
Schotterbett 36f, 52, 56, 60, 107, 112, 115
Schraubenkupplung 146f
Schwelle 63ff, 70ff, 88, 97, 108ff, 115ff, 120, 127
Schwellenkopf 112
Schwellenlose Bauweise 117
Schwellenunterkante 112
Seitenbeschleunigung 20ff, 29, 31, 36f, 39, 43, 50f, 66, 100
Sicherheitsraum 123, 128
Sicherungssystem 13
Sichtzeit 213ff
Signal 71, 121, 131, 139, 153f, 163, 174ff, 228, 230ff
Signalabhängigkeit 175ff, 180, 185, 193, 201, 203, 204
Signalbegriff 187f
Signaltechnik 139, 174f, 197, 231
Simulation 221f
S-Kurve 45, 59, 70, 96
Spanngewicht 134
Spurführung 14f, 108
Spurkranz 15, 35, 147
Spurspiel 14
Stahlschwelle 110f
Stammgleis 63f, 66, 68, 76, 78f, 82ff, 89, 91, 98ff, 158
Standverfahren 173
Steigung 16, 20, 26, 48, 168, 179, 190

Stellwerk 63, 68, 152f, 176, 181, 185, 189f, 201ff, 214
Straßenüberführung 227
Streckenblock 176, 205f
Streckentrenner 136
Streckentrennung 136f
Stromabnehmer 133, 136
Stromschiene 132
Stromschienenoberleitung 132f
Stückgutverkehr 167

T

Talbremse 169
Tangentenlänge 25, 51, 64f, 76, 91
Technische Spezifikation Interoperabilität (TSI) 32, 48, 74, 231f
Teilauflösung 216
Tonfrequenz-Gleisstromkreis 202
Tragseil 132f, 138
Transponder 200
Trasse 16, 20, 27, 232
Trassenfindung 27
Trassenführung 27
Trassierung 16, 19ff, 23f, 26, 28f, 31ff, 36ff, 41, 43, 46, 51ff, 62, 72f, 97, 107, 117, 120, 124, 139, 147, 150, 227, 231
Trassierungselement 20, 23f, 31ff, 37f, 44, 46, 73
Trassierungsparameter 29, 33, 36, 43
Trennungsbahnhof 153ff, 164f
Triebfahrzeug 132, 141ff, 145, 147f, 150, 152, 156, 159, 169, 174, 181, 186ff, 190, 192ff, 212, 214f, 231
Triebkopfbzug 149
Triebwagenzug 149f, 164, 199
Tunnel 21, 110, 116f, 123, 125, 133, 200

U

Überführung 49, 153, 157, 166, 212, 227
Überführungsfahrt 166
Übergangsbogen 20, 24ff, 31, 34f, 38f, 42ff, 52f, 55ff, 70, 80f, 90, 98f
Übergangsbogen nach BLOSS 40, 42, 44, 56f

Überhöhung 18, 22ff, 27, 29ff, 43ff, 50ff, 58ff, 66, 69, 72, 75f, 82ff, 88ff, 97ff, 115, 117, 120, 124, 137f, 230
 Überhöhungsfehlbetrag 30f, 36f, 42, 51f, 59f, 66, 69, 82f, 103, 120, 230
 Überhöhungsformel, -nachweis 29, 31f, 35, 51, 54, 66, 76, 82ff, 89f, 97
 Überhöhungsrampe 22ff, 33f, 38ff, 44, 50, 52, 54f, 72, 88, 98
 Überholungsbahnhof 154ff, 182
 Überholungsgleis 155, 158, 183, 216
 Unterbau 107, 126

V

verkehrstechnische Sicherung 210f
 Verkehrsüberholungsgleis 156
 Verschluss 118, 193, 203f, 206f
 Verspätung 112, 196, 218ff
 Vertikalbeschleunigung 49f
 Vorentwurfsplanung 27f, 70, 86, 88
 Vorsignal 182, 186ff, 192ff, 197f, 201, 216f

W

Wachsamkeitstaste 195
 Wagenkasten 15, 22f, 51f
 Wagenladungsverkehr 167f
 Wärter 205ff, 211
 Wartezeit 153, 181, 221, 222
 W-Befestigung 111
 Wechselbehälter 167, 171
 Weichenbau 75, 83, 107, 118
 Weichengrundform 78f, 81, 84ff, 89, 98, 101, 103ff
 Weichenneigung 67, 70, 72, 74, 87
 Weichenschwelle 71, 120
 Weichentyp 62, 68, 90f, 97, 119, 187
 Weichenverbindung 45, 67, 69ff, 86ff, 92f, 96, 100, 102ff, 124, 127, 154f, 157f, 164, 183, 185
 Wendezug 150
 Wiener Bogen® 44f
 Wirbelstrombremse 145

Z

Zentrifugalkraft 17f, 22, 29f, 52
 Zentrifugalbeschleunigung 18f, 82
 ZÜBLIN 116
 Zugbeeinflussung 177, 192ff, 196ff, 202
 Zugstraße 181, 202
 Zunge 63, 69, 90, 94ff, 118
 Zungenweiche 63
 Zustimmung 205
 Zustimmungswert 33, 36f, 39f, 42, 50
 Zwangspunkt 37, 60f, 82, 162
 Zweiggleis 31, 63ff, 72ff, 89ff, 93ff, 98ff, 106, 157, 177f, 187
 Zweiggleisbogen 66f, 69f, 74, 178
 Zweiggleisgeschwindigkeit 67f, 82, 85f, 89f, 101, 103f, 187
 Zweiggleisradius 66, 68, 75f, 84ff, 93, 95, 99
 Zwischengerade 23, 34f, 45f, 48, 70ff, 88, 91
 Zwischensignal 185f