

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	13
Abkürzungsverzeichnis	15
1 Eisenbahn-Bewegungsgeometrie	17
1.1 Aufgabe und Verfahren der Bewegungsgeometrie	17
1.2 Die Vektorgleichung der Bahn als Raumkurve	19
1.3 Vektorkinematik des Punktes	21
1.3.1 Das Bewegungsgesetz des sich auf der Bahn bewegenden Punktes	21
1.3.2 Das begleitende dreidimensionale Vektorsystem	22
1.3.3 Die kinematischen Bewegungsmerkmalvektoren	24
1.3.4 Der Geschwindigkeitsvektor \mathbf{v}	25
1.3.5 Der Beschleunigungsvektor \mathbf{a}	26
1.3.6 Der \mathbf{h} -Vektor	28
1.3.7 Der \mathbf{m} -Vektor	32
1.4 Untersuchung des Null-Werdens des \mathbf{h} -Vektors	35
1.5 Vektorkinematik des starren Körpers	41
1.5.1 Bewegungsgesetz des starren Körpers (Punktsystem)	41
1.5.2 Bewegungsmerkmalvektoren	42
1.5.3 Untersuchung des Kreisbogens ohne Überhöhung ($m=0$)	44
1.5.4 Untersuchung des überhöhten Kreisbogens ($m \neq 0$)	47
1.5.5 Untersuchung des Cosinus-Übergangsbogens ohne Überhöhung ($m=0$)	50
1.5.6 Untersuchung des Cosinus-Übergangsbogens mit Überhöhung ($m \neq 0$)	53
1.6 Praktische Aufgaben aus dem Bereich der Bewegungsgeometrie	57
1.6.1 Untersuchung bei fehlendem Übergangsbogen	59
1.6.2 Bestimmung der minimalen Länge des Übergangsbogens	60
1.6.3 Bestimmung der höchstzulässigen Geschwindigkeit in einem Kreisbogen ohne Überhöhung und Übergangsbogen	61
1.6.4 Untersuchung des kleinsten zulässigen Kreisbogenradius bei einem Kreisbogen mit Übergangsbogen	62
1.6.5 Bestimmung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit beim Kreisbogen mit Übergangsbogen	63

1.6.6	Untersuchung des Ausrundungskreisbogenradius bei Neigungswechseln	64
1.7	Elemente der Vektor- und Differentialgeometrierechnung	65
1.7.1	Grundbegriffe	65
1.7.2	Rechtwinklige Koordinaten und Absolutwert des Vektors, Einheitsvektor und Nullvektor	66
1.7.3	Gleichheit, Summe und Differenz von Vektoren und Produkt mit einem Skalarwert	67
1.7.4	Skalarprodukt zweier Vektoren	68
1.7.5	Vektorprodukt von zwei Vektoren	69
1.7.6	Gemischtes Produkt von Vektoren	70
1.7.7	Berechnungsformeln für weitere mehrfache Produkte von Vektoren	70
1.7.8	Formeln für die Darstellung der wichtigsten differentialgeometrischen Eigenschaften von Raumkurven	71
1.7.9	Beispiel für die Bestimmung von Bewegungsmerkmalvektoren	72
	Literatur zum Kapitel 1	74
2	Geometrie der Krümmungsänderung	76
2.1	Die Bahnkrümmung	77
2.2	Geometrische Bestimmung des Übergangsbogens	78
2.3	Geometrien des Krümmungsüberganges	81
2.3.1	Geometrie des Cosinus-Übergangsbogens als einheitliches Trassierungselement	83
2.3.1.1	Cosinus-Übergangsbogen zwischen Gerader und Kreisbogen	84
2.3.1.2	Cosinus-Übergangsbogen zwischen Kreisbogen mit gleicher Krümmungsrichtung	87
2.3.1.3	Cosinus-Übergangsbogen zwischen Kreisbogen mit entgegengesetzter Krümmungsrichtung (Gegenbogen)	91
2.3.2	Geometrie der Parabel vierten Grades als Übergangsbogen und einheitliches Trassierungselement	94
2.3.2.1	Parabel vierten Grades als Übergangsbogen zwischen Gerader und Kreisbogen	95
2.3.2.2	Parabel vierten Grades als Übergangsbogen zwischen Kreisbogen mit gleicher Krümmungsrichtung (Korbbogen)	99
2.3.2.3	Parabel vierten Grades als Übergangsbogen zwischen Kreisbogen mit entgegengesetzter Krümmungsrichtung (Gegenbogen)	103
2.3.3	Geometrie des Sinus-Übergangsbogens als einheitliches Trassierungselement	107
2.3.3.1	Sinus-Übergangsbogen zwischen Gerader und Kreisbogen	108
2.3.3.2	Sinus-Übergangsbogen zwischen Kreisbogen mit gleicher Krümmungsrichtung (Korbbogen)	109
2.3.3.3	Sinus-Übergangsbogen zwischen Kreisbogen mit entgegengesetzter Krümmungsrichtung (Gegenbogen)	112
2.3.4	Geometrie des Klothoiden-Übergangsbogens	114
2.3.4.1	Klothoiden-Übergangsbogen zwischen Gerader und Kreisbogen	115

2.3.4.2	Klothoiden-Übergangsbogen zwischen Kreisbogen mit gleicher Krümmungsrichtung (Korbbogen)	116
2.3.4.3	Klothoiden-Übergangsbogen zwischen Kreisbogen mit entgegengesetzter Krümmungsrichtung (Gegenbogen)	118
2.3.5	Vergleich der planlichen Lage der untersuchten Übergangsbogen	120
2.3.5.1	Cosinus- und Klothoiden-Übergangsbogen	120
2.3.5.2	Parabel vierten Grades als Übergangsbogen und Klothoiden-Übergangsbogen	122
2.3.5.3	Sinus- und Klothoiden-Übergangsbogen	123
2.3.6	Wahl des Übergangsbogens bei einer Geschwindigkeitserhöhung	124
2.4	Bestimmung der Länge des Übergangsbogens	125
2.4.1	Bestimmung der Länge des Cosinus-Übergangsbogens	126
2.4.2	Bestimmung der Länge der Parabel vierten Grades als Übergangsbogen	128
2.4.3	Berechnung der Länge des Sinus-Übergangsbogens	129
2.4.4	Berechnung der Länge des Klothoiden-Übergangsbogens	130
2.4.5	Die kleinste herstellbare Länge des Übergangsbogens	131
2.5	Kinematische Bewertung der untersuchten Übergangsbogen	132
2.5.1	Untersuchung der Krümmungsänderung der Übergangsbogen	132
2.5.1.1	Cosinus-Übergangsbogen	133
2.5.1.2	Parabel vierten Grades als Übergangsbogen	133
2.5.1.3	Sinus-Übergangsbogen	134
2.5.1.4	Klothoiden-Übergangsbogen	134
2.5.1.5	Maxima von Krümmungsänderungen	135
2.5.2	Untersuchung der Bahnverwindung bei Übergangsbogen	135
2.5.2.1	Verwindung des Cosinus-Übergangsbogens	136
2.5.2.2	Verwindung bei der Parabel vierten Grades als Übergangsbogen	138
2.5.2.3	Verwindung beim Sinus-Übergangsbogen	139
2.5.2.4	Verwindung beim Klothoiden-Übergangsbogen	140
2.5.3	Änderung der Größe des h -Vektors bei Übergangsbogen	140
2.5.3.1	Berechnung der Größe des h -Vektors bei einem Cosinus-Übergangsbogen	141
2.5.3.2	Berechnung der Größe des h -Vektors bei einer Parabel vierten Grades als Übergangsbogen	142
2.5.3.3	Berechnung der Größe des h -Vektors bei einem Sinus-Übergangsbogen	143
2.5.3.4	Vergleichsdiagramme des h -Vektors	144
2.5.4	Vergleichende Bewertung der untersuchten Übergangsbogen	146
2.6	Kombinationen von Übergangsbogen	149
2.6.1	Aus Übergangsbogen gebildeter Bogen	149
2.6.2	Durch vier Übergangsbogen bewirkte Vergrößerung des Achsabstandes zweier Gleise (Gleisverziehung)	153
3	Geometrie des Überhöhungsüberganges	156
3.1	Gestaltung von Gleisen im Kreisbogen	156
3.2	Der Überhöhungsübergang	160
3.2.1	Gestaltung des Überhöhungsüberganges	160

3.2.2	Das Neigungsmaß des Überhöhungsüberganges	161
3.2.3	Lage und Länge des Überhöhungsüberganges	162
3.3	Geometrien des Überhöhungsüberganges	163
3.3.1	Einheitlicher Cosinus-Überhöhungsübergang	163
3.3.2	Einheitlicher Parabel-Überhöhungsübergang	165
3.3.3	Einheitlicher Sinus-Überhöhungsübergang	168
3.3.4	Linearer Überhöhungsübergang	170
3.4	Kinematische Bewertung der geprüften Überhöhungsübergänge	172
3.5	Bestimmung der Ordinaten der Überhöhungsübergänge unter Verwendung von Hilfstabellen	175
3.6	Bestimmung der Überhöhung im Falle des gemischten Verkehrs	181
3.6.1	Bestimmung der Überhöhung in Kreisbogen einer Bahnstrecke mit gemischtem Verkehr unter Berücksichtigung der Güterzugbelastung	182
3.6.2	Untersuchung der optimalen Güterzuggeschwindigkeit bei einer gegebenen Verkehrsverteilung	184
3.6.2.1	Bestimmung der optimalen Güterzuggeschwindigkeit, wenn Ausbaue- und Schnellzuggeschwindigkeit gleich sind	185
3.6.2.2	Bestimmung der Güterzuggeschwindigkeit in einem allgemeinen Fall	186
3.6.3	Bestimmung der optimalen Überhöhung mit Rücksicht auf die Verkehrsverteilung	186
	Literatur zu den Kapiteln 2 und 3	187
4	Sekundäre Auswirkungen von Übergangsgeometrien	188
4.1	Die Abweichung zwischen der Bahn des Fahrzeugschwerpunktes und dem Verlauf (der Bahn) der Gleisachse	188
4.1.1	Bestimmung der Vektorgleichung der Schwerpunktbahn	189
4.1.2	Näherungsuntersuchung der durch die Schwerpunktbahn verursachten Abweichung	192
4.1.2.1	Berechnung bei Cosinus-Übergangsbogen	192
4.1.2.2	Berechnung bei Übergangsbogen als Parabel vierten Grades	193
4.1.2.3	Berechnung bei Sinus-Übergangsbogen	195
4.1.2.4	Berechnung bei Klothoiden-Übergangsbogen	196
4.2	Abweichung der räumlichen Bahnkrümmung sowie der Krümmung in der (x, y) -Ebene	197
4.2.1	Cosinus-Geometrie	197
4.2.2	Parabel-Geometrie	198
4.2.3	Sinus-Geometrie	199
4.2.4	Lineare Geometrie	199
	Literatur zum Kapitel 4	200
5	Geometrie von Weichenbogen	201
5.1	Verkehrsmechanische Probleme der Weichen	202
5.2	Weiche mit Kreisbogenablenkung	204

5.2.1	Die Größe der im Kreisbogen als Ablenkbogen zulässigen Geschwindigkeit	205
5.2.2	Bestimmung des Kreisbogenhalbmessers für eine gegebene Geschwindigkeit im Ablenkbogen	206
5.3	In Kreisbogen verlegte Weichen (Kreisbogenweichen)	206
5.4	In einem Übergangsbogen verlegte Weichen (Übergangsbogenweichen)	209
5.5	Weichengrundformen mit Übergangsbogenablenkung	212
5.5.1	Untersuchung einer für höhere Geschwindigkeiten im ablenkenden Strang geeigneten Weichengeometrie	212
5.5.2	Bestimmung der Geometrie des ablenkenden Stranges in Übergangsbogenform	214
5.5.3	Untersuchung des Abstandes zwischen theoretischem Weichenanfang und Weichenzungenspitze	220
5.5.4	Zahlenbeispiel für die Berechnung der modifizierten kombinierten Cosinus-Übergangsbogen-Weichengeometrie	221
5.6	Vergleich von Weichengeometrien	223
	Literatur zum Kapitel 5	226
6	Bewegungsgeometrie der Maßtoleranzen	227
6.1	Form des Richtungsfehlers	227
6.2	Untersuchung des maßgebenden Zustandes	230
6.3	Bewegungsgeometrische Untersuchung der Fehler eines Eisenbahngleises	233
6.4	Berechnung der Richtungsabweichungen	234
6.4.1	Richtungsabweichungen in der Bahnebene	235
6.4.1.1	Das gerade Gleis	235
6.4.1.2	Kreisbogengleis (Pfeilhöhenabweichung)	235
6.4.1.3	Gleis in Übergangsbogen (Pfeilhöhenabweichung)	237
6.4.2	Richtungsabweichungen in der Lotebene	238
6.4.2.1	In einer Steigung, in einem Gefälle oder in der Ebene liegende Streckenabschnitte	238
6.4.2.2	In einem Ausrundungskreisbogen liegender Streckenabschnitt	239
6.5	Berechnung des „Richtungsbruches“	239
6.6	Maßtoleranztabellen	240
6.6.1	Richtungsabweichung in der Bahnebene	242
6.6.1.1	Richtungsabweichung in der Geraden	242
6.6.1.2	Richtungsabweichung im Kreisbogen (Pfeilhöhenabweichung, $L \neq 0$, $m \neq 0$)	242
6.6.1.3	Richtungsabweichung im Cosinus-Übergangsbogen (Pfeilhöhenabweichung, $m \neq 0$)	243
6.6.1.4	Richtungsabweichung im Klothoiden-Übergangsbogen (Pfeilhöhenabweichung, $m \neq 0$)	243
6.6.2	Richtungsabweichungen in der Lotebene	244
6.6.2.1	Richtungsabweichungen in der Steigung, im Gefälle sowie in der Ebene	244

6.6.2.2	Richtungsabweichung im Ausrundungskreisbogen in der Lotebene (Pfeilhöhenabweichung, auf Grund der Formel $R_f = V^3/238$)	245
6.6.3	Richtungsbruch	245
	Literatur zum Kapitel 6	246
7	Weitere Berechnungsformeln für Eisenbahn-Bahnelemente	247
7.1	Tangentialwinkelfunktionen	247
7.1.1	Tangentialwinkelfunktionen für Bahnelemente mit konstanter Krümmung	248
7.1.2	Tangentialwinkelfunktionen von Übergangsbogen	248
7.1.2.1	Tangentialwinkelfunktion des Cosinus-Übergangsbogens	248
7.1.2.2	Tangentialwinkelfunktion des Übergangsbogens als Parabel vierten Grades	248
7.1.2.3	Tangentialwinkelfunktion des Sinus-Übergangsbogens	249
7.1.2.4	Tangentialwinkelfunktion des Klothoiden-Übergangsbogens	249
7.2	Formeln zur Pfeilhöhenberechnung	250
7.2.1	Formeln zur Pfeilhöhenberechnung von Bahnelementen mit konstanter Krümmung	251
7.2.2	Formeln zur Pfeilhöhenberechnung für Übergangsbogen	251
7.2.2.1	Formeln zur Pfeilhöhenberechnung für Cosinus-Übergangsbogen	251
7.2.2.2	Formeln zur Pfeilhöhenberechnung für Übergangsbogen als Parabel vierten Grades	254
7.2.2.3	Formeln zur Pfeilhöhenberechnung für Sinus-Übergangsbogen	255
7.2.2.4	Formeln zur Pfeilhöhenberechnung für Klothoiden-Übergangsbogen	257
7.3	Formeln für die Berechnung der Verkürzung von Innenschienen	258
7.3.1	Verkürzung der Innenschiene eines Gleisabschnittes mit konstanter Krümmung	259
7.3.2	Verkürzung der Innenschiene in Übergangsbogen	259
7.3.2.1	Verkürzung der Innenschiene im Cosinus-Übergangsbogen	259
7.3.2.2	Verkürzung der Innenschiene des Übergangsbogens als Parabel vierten Grades	260
7.3.2.3	Verkürzung der Innenschiene eines Sinus-Übergangsbogens	260
7.3.2.4	Verkürzung der Innenschiene des Klothoiden-Übergangsbogens	261
	Literatur zum Kapitel 7	261
Anhang		263
1.	Maßgebliche Elemente der Projektierungsvorschriften bei verschiedenen Eisenbahnverwaltungen	265
2.	Länge der Cosinus-Übergangsbogen zwischen Gerader und Kreisbogen (L, m)	267
3.	Absteckdaten für Cosinus-Übergangsbogen zwischen Gerader und Kreisbogen für Geschwindigkeiten 60...160 km/h	272
4.	Länge von Cosinus-Übergangsbogen zwischen Korbbogen	565

5.	Länge von Cosinus-Übergangsbogen zwischen Gegenbogen	575
6.	Übergangsbogenlängen (L , m) für Übergangsbogen als Parabel vierten Grades sowie für Sinus- und Klothoiden-Übergangsbogen zwischen Gerader und Kreisbogen	585
7.	Überhöhungstabelle (m , mm)	588
8.	Cosinus-Überhöhungsübergangsordinaten zwischen einer Geraden und einem Kreisbogen	593
Allgemeine Literatur		607