

DIN EN 15302

ICS 17.040.20; 45.060.01

Ersatz für
DIN EN 15302:2009-07**Bahnanwendungen –
Verfahren zur Bestimmung der äquivalenten Konizität;
Deutsche Fassung EN 15302:2008+A1:2010**

Railway applications –
Method for determining the equivalent conicity;
German version EN 15302:2008+A1:2010

Applications ferroviaires –
Méthode de détermination de la conicité équivalente;
Version allemande EN 15302:2008+A1:2010

Gesamtumfang 125 Seiten

Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 15302:2008+A1:2010) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Unterausschuss NA 087-00-02-02 UA „Fahrtechnik“ im Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF) im DIN.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 15302:2009-07 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Anhang ZA über den Zusammenhang dieser Norm mit EU-Richtlinien wurde an die neue Richtlinie 2008/57/EG und an den letzten Stand der Technischen Spezifikationen zur Interoperabilität, durch die grundlegende Anforderungen der Richtlinie in technische Anforderungen umgesetzt werden, angepasst.

Frühere Ausgaben

DIN EN 15302: 2009-07

Deutsche Fassung

Bahnanwendungen – Verfahren zur Bestimmung der äquivalenten Konizität

Railway applications –
Method for determining the equivalent conicity

Applications ferroviaires –
Méthode de détermination de la conicité équivalente

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 7. Februar 2008 angenommen und schließt Änderung 1 ein, die am 28. September 2010 vom CEN angenommen wurde.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum des CEN oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	9
Einleitung	9
1 Anwendungsbereich	13
2 Normative Verweisungen.....	14
3 Symbole	14
4 Grundlagen zur Bestimmung der äquivalenten Konizität.....	15
4.1 Integration der Radsatzbewegungsgleichung eines konischen Profils	15
4.2 Bestimmung der Wellenlänge eines konischen Profils	16
4.3 Definition der äquivalenten Konizität für nichtlineare Profile	17
5 Beschreibung des Referenzverfahrens	17
5.1 Allgemeine Grundlagen	17
5.2 Ermittlung der Rad- bzw. Schienenprofile	18
5.2.1 Messgrundlagen	18
5.2.2 Genauigkeit des Messsystems	18
5.3 Bestimmung der Δr -Rollradiendifferenz	18
5.4 Bestimmung der äquivalenten Konizität	19
6 Vergleichsberechnung.....	19
6.1 Übersicht	19
6.2 Validierung des Berechnungsverfahrens	19
Anhang A (informativ) Beispiel für die Darstellung der Funktion Δr und der Konizität.....	21
Anhang B (informativ) Beispiel für das Verfahren zur Bestimmung der äquivalenten Konizität durch Integration der nichtlinearen Differentialgleichung	22
B.1 Grundsatz.....	22
B.2 Verfahrensschritte.....	25
B.3 Besonderheiten	26
Anhang C (informativ) Beispiel für das Verfahren zur Bestimmung der äquivalenten Konizität durch lineare Regression der Funktion Δr	28
C.1 Grundsätze.....	28
C.2 Verfahrensschritte.....	28
C.3 Besonderheiten	29
Anhang D (normativ) Referenzprofile	30
D.1 Rad A	30
D.1.1 Kurvenverlauf	30
D.1.2 Analytische Definition	30
D.1.3 Kartesische Koordinaten	31
D.2 Rad B	32
D.2.1 Kurvenverlauf	32
D.2.2 Analytische Definition	32
D.2.3 Kartesische Koordinaten	33
D.3 Rad H	34
D.3.1 Kurvenverlauf	34
D.3.2 Analytische Definition	34
D.3.3 Kartesische Koordinaten	35
D.4 Rad I.....	36
D.4.1 Kurvenverlauf	36
D.4.2 Analytische Definition	36
D.4.3 Kartesische Koordinaten	37
D.5 Schiene A	38
D.5.1 Kurvenverlauf	38

D.5.2	Analytische Definition.....	38
D.5.3	Kartesische Koordinaten.....	39
Anhang E (normativ) Ergebnisse der Berechnungen mit Referenzprofilen.....		40
E.1	Rad A / Schiene A.....	41
E.1.1	Kurvenverlauf der Funktionen Δr , $\tan\gamma_a$, $\tan\gamma_e$ und Darstellung der Kontaktpunkte.....	41
E.1.2	Darstellung der kinematischen Bewegungskurven des Radsatzes im Gleis	42
E.1.3	Numerische Werte für die Funktion Δr	43
E.1.4	Numerische Werte für die Funktion $\tan\gamma_e$	44
E.2	Rad B / Schiene A.....	45
E.2.1	Kurvenverlauf der Funktionen Δr , $\tan\gamma_a$, $\tan\gamma_e$ und Darstellung der Kontaktpunkte.....	45
E.2.2	Darstellung der kinematischen Bewegungskurven des Radsatzes im Gleis	46
E.2.3	Numerische Werte für die Funktion Δr	47
E.2.4	Numerische Werte für die Funktion $\tan\gamma_e$	48
E.3	Rad H / Schiene A.....	49
E.3.1	Kurvenverlauf der Funktionen Δr , $\tan\gamma_a$, $\tan\gamma_e$ und Darstellung der Kontaktpunkte.....	49
E.3.2	Darstellung der kinematischen Bewegungskurven des Radsatzes im Gleis	50
E.3.3	Numerische Werte für die Funktion Δr	51
E.3.4	Numerische Werte für die Funktion $\tan\gamma_e$	52
E.4	Rad I / Schiene A	53
E.4.1	Kurvenverlauf der Funktionen Δr , $\tan\gamma_a$, $\tan\gamma_e$ und Darstellung der Kontaktpunkte.....	53
E.4.2	Darstellung der kinematischen Bewegungskurven des Radsatzes im Gleis	54
E.4.3	Numerische Werte für die Funktion Δr	55
E.4.4	Numerische Werte für die Funktion $\tan\gamma_e$	56
E.5	Geändertes Rad A (–2 mm Durchmesser des linken Rades) / Schiene A.....	57
E.5.1	Kurvenverlauf der Funktionen Δr , $\tan\gamma_a$, $\tan\gamma_e$ und Darstellung der Kontaktpunkte.....	57
E.5.2	Darstellung der kinematischen Bewegungskurven des Radsatzes im Gleis	58
E.5.3	Numerische Werte für die Funktion Δr	59
E.5.4	Numerische Werte für die Funktion $\tan\gamma_e$	60
E.6	Geändertes Rad B (–2 mm Durchmesser des linken Rades) / Schiene A.....	61
E.6.1	Kurvenverlauf der Funktionen Δr , $\tan\gamma_a$, $\tan\gamma_e$ und Darstellung der Kontaktpunkte.....	61
E.6.2	Darstellung der kinematischen Bewegungskurven des Radsatzes im Gleis	62
E.6.3	Numerische Werte für die Funktion Δr	63
E.6.4	Numerische Werte für die Funktion $\tan\gamma_e$	64
E.7	Geändertes Rad H (–2 mm Durchmesser des linken Rades) / Schiene A.....	65
E.7.1	Kurvenverlauf der Funktionen Δr , $\tan\gamma_a$, $\tan\gamma_e$ und Darstellung der Kontaktpunkte.....	65
E.7.2	Darstellung der kinematischen Bewegungskurven des Radsatzes im Gleis	66
E.7.3	Numerische Werte für die Funktion Δr	67
E.7.4	Numerische Werte für die Funktion $\tan\gamma_e$	68
E.8	Geändertes Rad I (–2 mm Durchmesser des linken Rades) / Schiene A.....	69
E.8.1	Kurvenverlauf der Funktionen Δr , $\tan\gamma_a$, $\tan\gamma_e$ und Darstellung der Kontaktpunkte.....	69
E.8.2	Darstellung der kinematischen Bewegungskurven des Radsatzes im Gleis	70
E.8.3	Numerische Werte für die Funktion Δr	71
E.8.4	Numerische Werte für die Funktion $\tan\gamma_e$	72
E.9	(Rechtes Rad A – Linkes Rad B) / Schiene A.....	73
E.9.1	Kurvenverlauf der Funktionen Δr , $\tan\gamma_a$, $\tan\gamma_e$ und Darstellung der Kontaktpunkte.....	73
E.9.2	Darstellung der kinematischen Bewegungskurven des Radsatzes im Gleis	74
E.9.3	Numerische Werte für die Funktion Δr	75
E.9.4	Numerische Werte für die Funktion $\tan\gamma_e$	76
Anhang F (normativ) Toleranzen für die äquivalente Konizität.....		77
F.1	Rad A / Schiene	78

	Seite
F.1.1 Kurvenverlauf	78
F.1.2 Numerische Werte	79
F.2 Rad B / Schiene A	81
F.2.1 Kurvenverlauf	81
F.2.2 Numerische Werte	82
F.3 Rad H / Schiene A	84
F.3.1 Kurvenverlauf	84
F.3.2 Numerische Werte	85
F.4 Rad I / Schiene A	87
F.4.1 Kurvenverlauf	87
F.4.2 Numerische Werte	88
F.5 Geändertes Rad A (–2 mm Durchmesser des linken Rades) / Schiene A	90
F.5.1 Kurvenverlauf	90
F.5.2 Numerische Werte	91
F.6 Geändertes Rad B (–2 mm Durchmesser des linken Rades) / Schiene A	93
F.6.1 Kurvenverlauf	93
F.6.2 Numerische Werte	94
F.7 Geändertes Rad H (–2 mm Durchmesser des linken Rades) / Schiene A	96
F.7.1 Kurvenverlauf	96
F.7.2 Numerische Werte	97
F.8 Geändertes Rad I (–2 mm Durchmesser des linken Rades) / Schiene A	99
F.8.1 Kurvenverlauf	99
F.8.2 Numerische Werte	100
F.9 (Rechtes Rad A – linkes Rad B) / Schiene A	102
F.9.1 Kurvenverlauf	102
F.9.2 Numerische Werte	103
Anhang G (informativ) Beispiele für Rechenergebnisse mit Fehlereinfügung	105
G.1 Rad A / Schiene A – Zufallsfehler in mm	105
G.2 Rad A / Schiene A – Zufallsfehler in mm	106
G.3 Rad A / Schiene A – Zufallsfehler in mm	107
G.4 Rad A / Schiene A – Rasterfehler in mm	108
G.5 Rad A / Schiene A – Rasterfehler in mm	109
G.6 Rad A / Schiene A – Rasterfehler in mm	110
G.7 Rad H / Schiene A – Zufallsfehler in mm	111
Anhang H (informativ) Richtlinie für Anwendung von Störungen	112
H.1 Rasterfeld-Störung	112
H.2 Zufallsfehler	114
Anhang I (informativ) Anwendungsleitfaden	116
Anhang ZA (informativ)  Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EU-Richtlinie 2008/57/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 17. Juni 2008 über die Interoperabilität des Eisenbahnsystems innerhalb der Gemeinschaft (Neufassung)	118
Literaturhinweise	123

Bilder

Bild 1 — Vergleichsverfahren, Schritt 1	10
Bild 2 — Vergleichsverfahren, Schritt 2	11
Bild 3 — Vergleichsverfahren, Schritt 3	12
Bild 4 — Maße am Radsatz	15
Bild 5 — $y = f(x)$-Funktion	16
Bild A.1 — Funktionen $\Delta r = f(y)$ und $\tan \gamma_e = f(y)$	21
Bild B.1 — Darstellung von dx, dy	22
Bild B.2 — Darstellung von $ds, d\psi$	22
Bild B.3 — Darstellung von r_1, r_2, e	23
Bild B.4 — Merkmal $\Delta r = f(y)$ mit negativer Steigung	26
Bild B.5 — Berechnung des Integrals $\int \Delta r dy$	26
Bild B.6 — Bestimmung von y_{em}, Berechnung von $\int \Delta r dy$ und Bestimmung von $\hat{y}$	27
Bild B.7 — Bestimmung der Funktionen $y_{emin} = f(\hat{y})$ und $y_{emax} = f(\hat{y})$	27
Bild B.8 — Bestimmung der Konstanten C	27
Bild D.1 — Rad A	30
Bild D.2 — Rad B	32
Bild D.3 — Rad H	34
Bild D.4 — Rad I	36
Bild D.5 — Schiene A	38
Bild E.1a — Kurvenverlauf der Funktionen $\Delta r, \tan \gamma_a, \tan \gamma_e$ und Darstellung der Kontaktpunkte — Rad A / Schiene A	41
Bild E.1b — Darstellung der kinematischen Bewegungskurven des Radsatzes im Gleis — Rad A / Schiene A	42
Bild E.2a — Kurvenverlauf der Funktionen $\Delta r, \tan \gamma_a, \tan \gamma_e$ und Darstellung der Kontaktpunkte — Rad B / Schiene A	45
Bild E.2b — Darstellung der kinematischen Bewegungskurven des Radsatzes im Gleis — Rad B / Schiene A	46
Bild E.3a — Kurvenverlauf der Funktionen $\Delta r, \tan \gamma_a, \tan \gamma_e$ und Darstellung der Kontaktpunkte — Rad H / Schiene A	49
Bild E.3b — Darstellung der kinematischen Bewegungskurven des Radsatzes im Gleis — Rad H / Schiene A	50
Bild E.4a — Kurvenverlauf der Funktionen $\Delta r, \tan \gamma_a, \tan \gamma_e$ und Darstellung der Kontaktpunkte — Rad I / Schiene A	53
Bild E.4b — Darstellung der kinematischen Bewegungskurven des Radsatzes im Gleis — Rad I / Schiene A	54
Bild E.5a — Kurvenverlauf der Funktionen $\Delta r, \tan \gamma_a, \tan \gamma_e$ und Darstellung der Kontaktpunkte — Geändertes Rad A / Schiene A	57

Bild E.5b — Darstellung der kinematischen Bewegungskurven des Radsatzes im Gleis — Geändertes Rad A / Schiene A.....	58
Bild E.6a — Kurvenverlauf der Funktionen Δr , $\tan\gamma_a$, $\tan\gamma_e$ und Darstellung der Kontaktpunkte — Geändertes Rad B / Schiene A.....	61
Bild E.6b — Darstellung der kinematischen Bewegungskurven des Radsatzes im Gleis — Geändertes Rad B / Schiene A.....	62
Bild E.7a — Kurvenverlauf der Funktionen Δr , $\tan\gamma_a$, $\tan\gamma_e$ und Darstellung der Kontaktpunkte — Geändertes Rad H / Schiene A.....	65
Bild E.7b — Darstellung der kinematischen Bewegungskurven des Radsatzes im Gleis — Geändertes Rad H / Schiene A.....	66
Bild E.8a — Kurvenverlauf der Funktionen Δr , $\tan\gamma_a$, $\tan\gamma_e$ und Darstellung der Kontaktpunkte — Geändertes Rad I / Schiene A	69
Bild E.8b — Darstellung der kinematischen Bewegungskurven des Radsatzes im Gleis — Geändertes Rad I / Schiene A	70
Bild E.9a — Kurvenverlauf der Funktionen Δr , $\tan\gamma_a$, $\tan\gamma_e$ und Darstellung der Kontaktpunkte — (Rechtes Rad A – Linkes Rad B) / Schiene A	73
Bild E.9b — Darstellung der kinematischen Bewegungskurven des Radsatzes im Gleis — (Rechtes Rad A – Linkes Rad B) / Schiene A	74
Bild F.1 — Kurvenverlauf Rad A / Schiene A	78
Bild F.2 — Kurvenverlauf Rad B / Schiene A	81
Bild F.3 — Kurvenverlauf Rad H / Schiene A	84
Bild F.4 — Kurvenverlauf Rad I / Schiene A.....	87
Bild F.5 — Kurvenverlauf geändertes Rad A / Schiene A.....	90
Bild F.6 — Kurvenverlauf geändertes Rad B / Schiene A.....	93
Bild F.7 — Kurvenverlauf geändertes Rad H / Schiene A.....	96
Bild F.8 — Kurvenverlauf geändertes Rad I / Schiene A	99
Bild F.9 — Kurvenverlauf (rechtes Rad A — linkes Rad B) / Schiene A.....	102
Bild G.1 — Rad A / Schiene A — Zufallsfehler in mm	105
Bild G.2 — Rad A / Schiene A — Zufallsfehler in mm	106
Bild G.3 — Rad A / Schiene A — Zufallsfehler in mm	107
Bild G.4 — Rad A / Schiene A — Rasterfehler in mm	108
Bild G.5 — Rad A / Schiene A — Rasterfehler in mm	109
Bild G.6 — Rad A / Schiene A — Rasterfehler in mm	110
Bild G.7 — Rad H / Schiene A — Zufallsfehler in mm	111
Bild H.1 — Transformation des Punktes $P(x, y)$ auf ein Gitter mit Gitterweiten Δy , Δz	112
Bild H.2 — Gittertransformation mit einem Gitterabstand von 0,5 mm.....	113
Bild H.3 — Variation des Gitterursprungs.....	113
Bild H.4 — 50 Varianten des Gitterursprungs.....	114
Bild H.5 — Zufallsfehler von Messpunkten.....	115

Tabellen

Tabelle D.1 — Radprofil: R-UIC 519-A — Rechtes Rad.....	31
Tabelle D.2 — Radprofil: R-UIC 519-B — Rechtes Rad.....	33
Tabelle D.3 — Radprofil: R-UIC 519-H — Rechtes Rad.....	35
Tabelle D.4 — Radprofil: R-UIC 519-I — Rechtes Rad	37
Tabelle D.5 — Schienenprofil: S-UIC 519-A — Rechte Schiene.....	39
Tabelle E.1a — Rad-/Schiene-Kontaktgeometrie: $\Delta r = f(y)$ — Radprofil: R-UIC 519-A — Schienenprofil: S-UIC 519-A	43
Tabelle E.1b — Rad-/Schiene-Kontaktgeometrie: Konizität — Radprofil: R-UIC 519-A — Schienenprofil: S-UIC 519-A	44
Tabelle E.2a — Rad-/Schiene-Kontaktgeometrie: $\Delta r = f(y)$ — Radprofil: R-UIC 519-B — Schienenprofil: S-UIC 519-A	47
Tabelle E.2b — Rad-/Schiene-Kontaktgeometrie: Konizität — Radprofil: R-UIC 519-B — Schienenprofil: S-UIC 519-A	48
Tabelle E.3a — Rad-/Schiene-Kontaktgeometrie: $\Delta r = f(y)$ — Radprofil: R-UIC 519-H — Schienenprofil: S-UIC 519-A	51
Tabelle E.3b — Rad-/Schiene-Kontaktgeometrie: Konizität — Radprofil: R-UIC 519-H — Schienenprofil: S-UIC 519-A	52
Tabelle E.4a — Rad-/Schiene-Kontaktgeometrie: $\Delta r = f(y)$ — Radprofil: R-UIC 519-I — Schienenprofil: S-UIC 519-A	55
Tabelle E.4b — Rad-/Schiene-Kontaktgeometrie: Konizität — Radprofil: R-UIC 519-I — Schienenprofil: S-UIC 519-A	56
Tabelle E.5a — Rad-/Schiene-Kontaktgeometrie: $\Delta r = f(y)$ — Durchmesserdiffferenz von 2 mm — Radprofil: R-UIC 519-A — Schienenprofil: S-UIC 519-A	59
Tabelle E.5b — Rad-/Schiene-Kontaktgeometrie: Konizität — Durchmesserdiffferenz von 2 mm — Radprofil: R-UIC 519-A — Schienenprofil: S-UIC 519-A	60
Tabelle E.6a — Rad-/Schiene-Kontaktgeometrie: $\Delta r = f(y)$ — Durchmesserdiffferenz von 2 mm — Radprofil: R-UIC 519-B — Schienenprofil: S-UIC 519-A	63
Tabelle E.6b — Rad-/Schiene-Kontaktgeometrie: Konizität — Durchmesserdiffferenz von 2 mm — Radprofil: R-UIC 519-B — Schienenprofil: S-UIC 519-A	64
Tabelle E.7a — Rad-/Schiene-Kontaktgeometrie: $\Delta r = f(y)$ — Durchmesserdiffferenz von 2 mm — Radprofil: R-UIC 519-H — Schienenprofil: S-UIC 519-A	67
Tabelle E.7b — Rad-/Schiene-Kontaktgeometrie: Konizität — Durchmesserdiffferenz von 2 mm — Radprofil: R-UIC 519-H — Schienenprofil: S-UIC 519-A	68
Tabelle E.8a — Rad-/Schiene-Kontaktgeometrie: $\Delta r = f(y)$ — Durchmesserdiffferenz von 2 mm — Radprofil: R-UIC 519-I — Schienenprofil: S-UIC 519-A.....	71
Tabelle E.8b — Rad-/Schiene-Kontaktgeometrie: Konizität — Durchmesserdiffferenz von 2 mm — Radprofil: R-UIC 519-I — Schienenprofil: S-UIC 519-A.....	72
Tabelle E.9a — Rad-/Schiene-Kontaktgeometrie: $\Delta r = f(y)$ — Radprofil: rechtes Rad R-UIC519-A / linkes Rad R-UIC 519-B — Schienenprofil: S-UIC 519-A	75
Tabelle E.9b — Rad-/Schiene-Kontaktgeometrie: Konizität — Radprofil: rechtes Rad R-UIC 519-A / linkes Rad R-UIC 519-B — Schienenprofil: S-UIC 519-A	76
Tabelle F.1 — Vergleichsberechnungen: Toleranzen — Radprofil: R-UIC 519-A — Schienenprofil: S-UIC 519-A	79

Tabelle F.2 — Vergleichsberechnungen: Toleranzen — Radprofil: R-UIC 519-B — Schienenprofil: S-UIC 519-A.....	82
Tabelle F.3 — Vergleichsberechnungen: Toleranzen — Radprofil: R-UIC 519-H — Schienenprofil: S-UIC 519-A.....	85
Tabelle F.4 — Vergleichsberechnungen: Toleranzen — Radprofil: R-UIC 519-I — Schienenprofil: S-UIC 519-A.....	88
Tabelle F.5 — Vergleichsberechnungen: Toleranzen — Radprofil: R-UIC 519-A — Durchmesserdiffenz von 2 mm — Schienenprofil: S-UIC 519-A	91
Tabelle F.6 — Vergleichsberechnungen: Toleranzen — Radprofil: R-UIC 519-B — Durchmesserdiffenz von 2 mm — Schienenprofil: S-UIC 519-A	94
Tabelle F.7 — Vergleichsberechnungen: Toleranzen — Radprofil: R-UIC 519-H — Durchmesserdiffenz von 2 mm — Schienenprofil: S-UIC 519-A	97
Tabelle F.8 — Vergleichsberechnungen: Toleranzen — Radprofil: R-UIC 519-I — Durchmesserdiffenz von 2 mm — Schienenprofil: S-UIC 519-A	100
Tabelle F.9 — Vergleichsberechnungen: Toleranzen — Radprofil: Rechtes Rad R-UIC 519-A / Linkes Rad R-UIC 519-B — Schienenprofil: S-UIC 519-A	103
Tabelle I.1 — Kombination von Profilen und deren Anwendungen.....	117
Tabelle ZA.1 — Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm, der am 26. März 2008 im Amtsblatt veröffentlichten HS TSI Fahrzeuge und der Richtlinie 2008/57/EG	119
Tabelle ZA.2 — Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm, der am 19. März 2008 im Amtsblatt veröffentlichten HS TSI Infrastruktur und der Richtlinie 2008/57/EG	120
Tabelle ZA.3 — Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm, der CR TSI Fahrzeuge – Lokomotiven, Personenzüge (Schluss-Entwurf Rev 4.0 vom 24. November 2009) und der Richtlinie 2008/57/EG.....	121
Tabelle ZA.4 — Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm, der CR TSI Infrastruktur (Schluss-Entwurf Rev 4.0 vom 18. September 2009) und der Richtlinie 2008/57/EG.....	122

Vorwort

Dieses Dokument (EN 15302:2008+A1:2010) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Mai 2011, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Mai 2011 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument enthält Änderung 1, die durch CEN am 2010-09-28 angenommen wurde.

Dieses Dokument ersetzt EN 15302:2008.

Beginn und Ende des Textes, der durch die Änderung eingeführt oder geändert wurde, ist im Text mit den Symbolen **A1** **A1** gekennzeichnet.

A1 Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN/CENELEC/ETSI erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinie 2008/57/EG.

Zum Zusammenhang mit der EU-Richtlinie 2008/57/EG siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieses Dokuments ist. **A1**

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Einleitung

Diese Europäische Norm beruht auf dem UIC-Merkblatt 519 OR, das CEN vom Internationalen Eisenbahnverband (UIC) übermittelt und von CEN/TC 256/WG 10 „Zusammenwirken Fahrzeug/Fahrwerk“ überarbeitet wurde.

Die Kontaktgeometrie zwischen Rad und Schiene ist von grundlegender Bedeutung für das dynamische Fahrverhalten eines Schienenfahrzeugs. Bei den Parametern, die das dynamische Verhalten eines Schienenfahrzeugs charakterisieren, spielt die Konizität eine wesentliche Rolle, da sie eine zufrieden stellende Beurteilung des Rad-Schiene-Kontakts auf gerader Strecke und in Gleisbögen mit großem Halbmesser (bei geringen Überhöhungsfehlbeträgen) ermöglicht. Ein Radsatz mit konischen Profilen beschreibt beim Fahren im Gleis eine Wellenform. Die Klingelsche Theorie legt dar, dass die Wellenlänge vom Kegelwinkel des Radprofils und der Entfernung zwischen den Kontaktpunkten abhängt.

Für Radprofile mit sich entlang des Profils ändernden Kegelwinkeln kann die Wellenlänge der Radsatzbewegung durch Integration der Funktion der Rollradiendifferenz in Abhängigkeit der Radsatzquerbewegung

auf der Strecke beurteilt werden. Die äquivalente Konizität wird durch den Vergleich dieser Wellenlänge mit der nach Klingelscher Theorie bestimmten Wellenlänge beurteilt.

Zur Bestimmung der äquivalenten Konizität ist ein eindeutiges Verfahren erforderlich, welches sowohl in Europäischen und nationalen Normen als auch anderen Dokumenten (rechtlicher und technischer Natur) verwendet wird.

Es ist erforderlich, dass die Ergebnisse übereinstimmen. Es ist jedoch möglich, andere Bewertungsverfahren als die in dieser Europäischen Norm angegebenen zu verwenden, wenn das angewandte Verfahren zur Bestimmung einer äquivalenten Konizität nach den Ergebnissen, die mit Hilfe der in Anhang E aufgeführten Referenzprofile berechnet wurden, führt.

Um einzuschätzen, ob die in dieser Europäischen Norm spezifizierten Ergebnisse durch ein alternatives Bewertungsverfahren erreicht werden können, ist es erforderlich, drei Aspekte zu beurteilen. Dies erfolgt in einem Vergleichsverfahren, das in diesem Dokument aufgeführt und nachfolgend in den Schritten 1, 2 und 3 kurz dargestellt wird:

In Schritt 1 werden die in Anhang D angegebenen Referenzprofile auf den Interpolations- und Berechnungsalgorithmus angewandt. Dadurch ist es möglich, die Kontaktpunkte für die Berechnung der Rollradiendifferenz als Funktion der Querposition des Radsatzes zu lokalisieren. Von dieser Funktion ausgehend wird die äquivalente Konizität in Abhängigkeit der Schwingungsamplitude berechnet. Durch einen Vergleich der erzielten Ergebnisse mit den Referenzergebnissen in Anhang E und einen in Anhang F definierten Bereich erlaubter Toleranzen wird bestimmt, ob das beurteilte Bewertungsverfahren akzeptiert oder verworfen wird (siehe Bild 1).

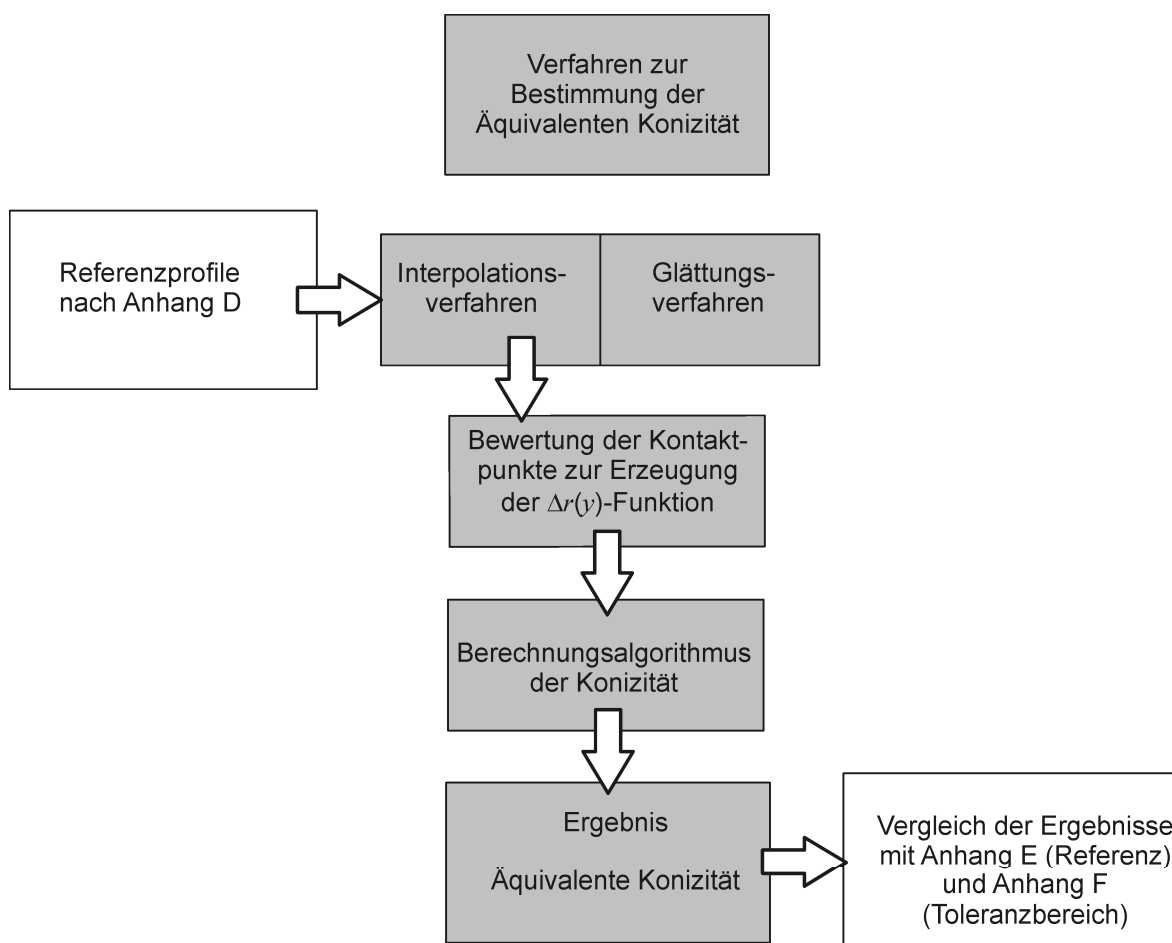


Bild 1 — Vergleichsverfahren, Schritt 1

In Schritt 2 werden die in Anhang G angegebenen Zufallsfehler zu den Referenzprofilen in Anhang D hinzugezählt und auf den Glättungs- und Interpolationsalgorithmus angewandt. Ein Vergleich der erzielten Ergebnisse mit den Referenzergebnissen einschließlich des Toleranzbereichs in Anhang F ermöglicht die Beurteilung des Bewertungsverfahrens (siehe Bild 2).

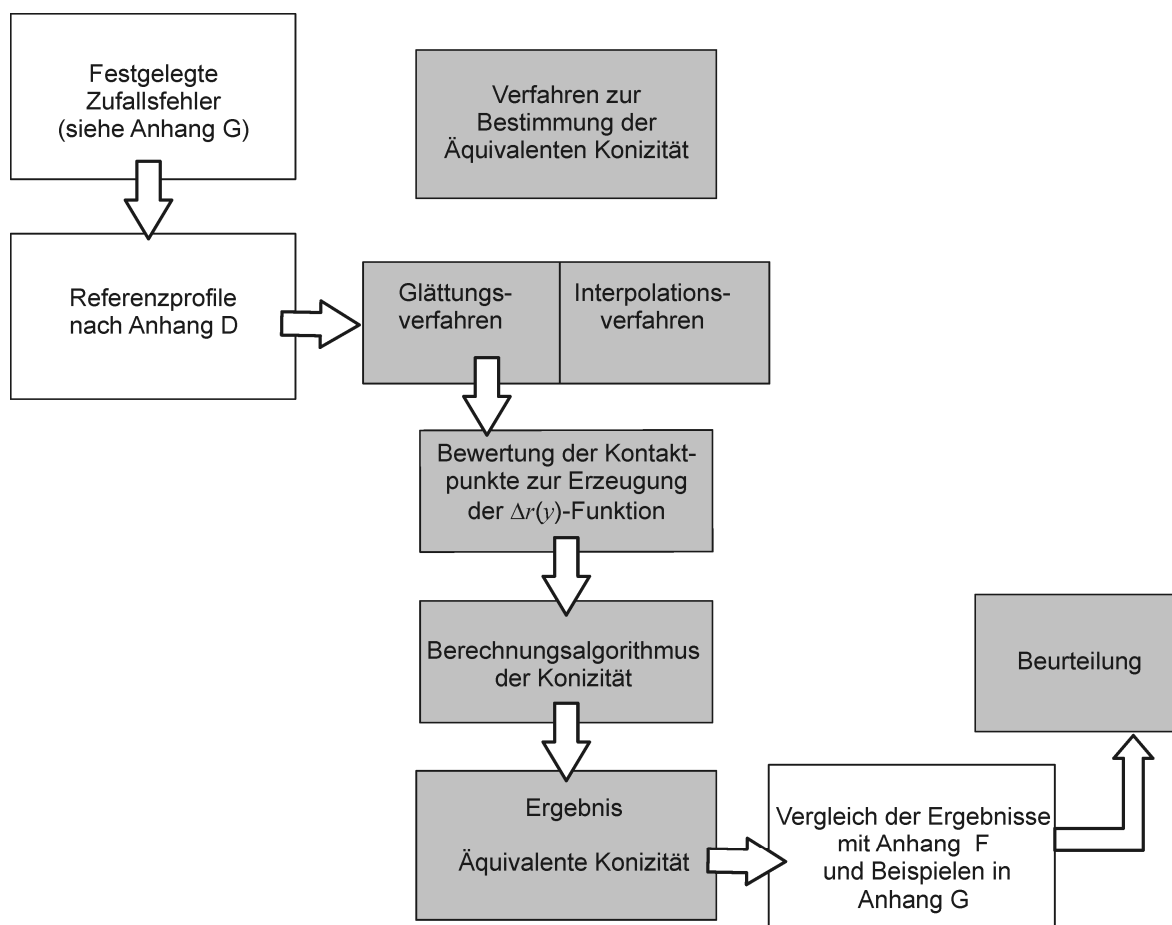


Bild 2 — Vergleichsverfahren, Schritt 2

In Schritt 3 werden die Toleranzen des verwendeten Messsystems mit den in Schritt 2 angewandten Zufallsfehlern verglichen, um ihren Einfluss auf die Ergebnisse zu beurteilen.

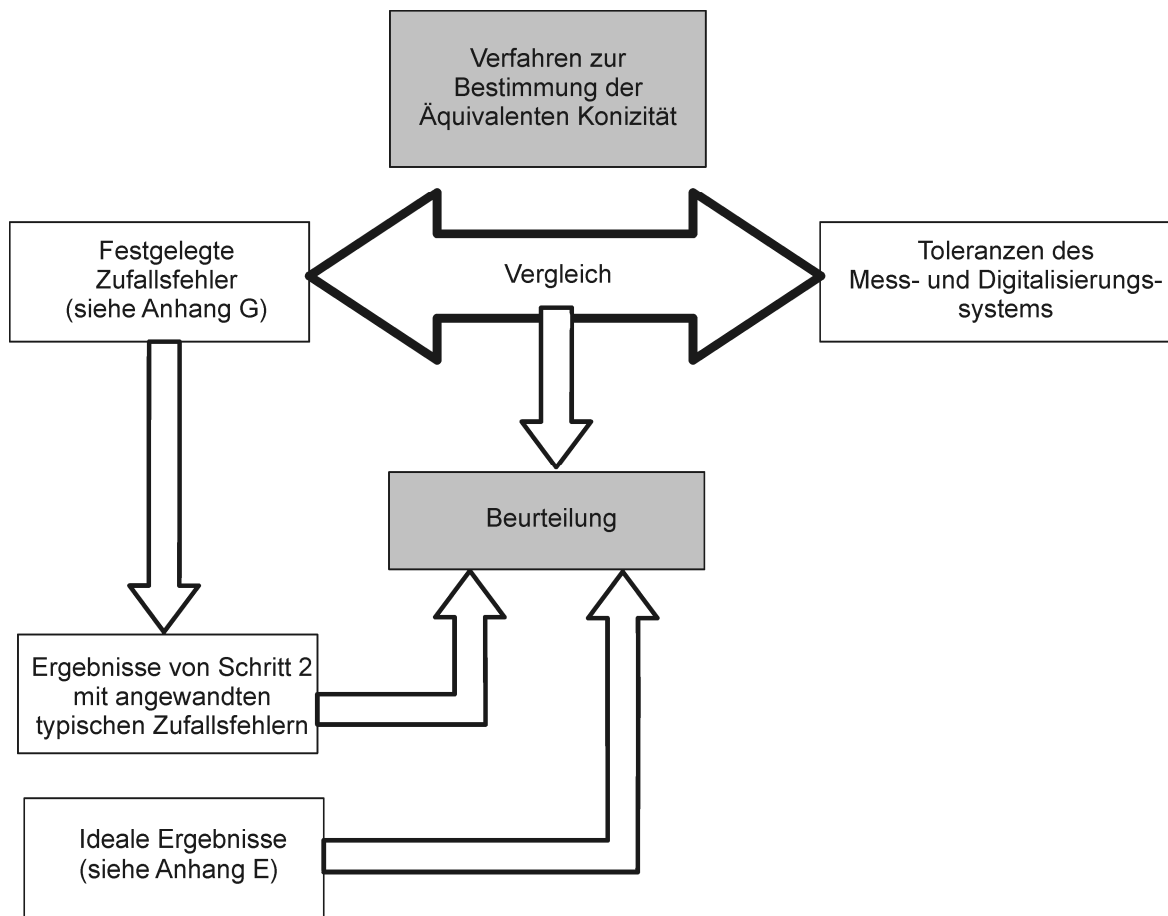


Bild 3 — Vergleichsverfahren, Schritt 3

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm legt ein Bewertungsverfahren zur Bestimmung der äquivalenten Konizität fest. Es wird eine Vergleichsberechnung spezifiziert, mit Hilfe derer vergleichbare Ergebnisse für die äquivalente Konizität auf einer einheitlichen Basis erzielt werden können. Diese Ergebnisse können mit anderen als in dieser Europäischen Norm angegebenen Verfahren berechnet werden. In diesem Dokument werden auch mögliche Berechnungsverfahren vorgeschlagen. Es enthält außerdem informative Beispiele zur Anwendung der Klingelschen Formel (siehe Anhang B) und der linearen Regression der Funktion Δr (siehe Anhang C).

Diese Europäische Norm beinhaltet Referenzprofile, Profilkombinationen, Toleranzen und Referenzergebnisse mit Toleranzgrenzen und ermöglicht so die Beurteilung der Zulässigkeit eines Mess- und Berechnungssystems, unter Berücksichtigung von Zufalls- und Gitterfehlern des Messsystems. Sie gibt Berechnungsgrundsätze an, die einzuhalten sind, aber schreibt keine spezielle numerische Berechnungsmethode vor.

Sie legt keinen Grenzwert für die äquivalente Konizität fest und gibt keine Toleranzen für das Schienenkopfprofil und das Radprofil an, um akzeptable Konizitätswerte zu erhalten.

Für andere Anwendungszwecke dieser Europäischen Norm (z. B. Simulation des Fahrzeugverhaltens) kann es nützlich oder erforderlich sein, weitergehende Verfahren zu verwenden. Diese Verfahren liegen außerhalb des Anwendungsbereiches dieser Europäischen Norm.

Für die Anwendung dieser Norm sind einige allgemeine Empfehlungen in Anhang I aufgeführt.

2 Normative Verweisungen

Das folgende zitierte Dokument ist für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

N/A

3 Symbole

Für die Anwendung dieser Norm gelten die folgenden Symbole.

x	Längsverschiebung des Radsatzes im Gleis
y	Querverschiebung des Radsatzes im Gleis
ψ	Winkel in der Ebene x - y
e	Entfernung zwischen den Kontaktpunkten (etwa 1 500 mm bei Normalspurweite)
λ	Wellenlänge
r_0	Radradius bei Radsatz in Mittelstellung
r_1	Rollradius des rechten Rades
r_2	Rollradius des linken Rades
r	mittlerer Rollradius beider Räder
Δr	Rollradiendifferenz zwischen rechtem und linkem Rad
R	Momentanradius des Radlaufes
ds	Bogenlänge der Radbewegung entsprechend dem Winkel $d\psi$
$\tan\gamma_e$	äquivalente Konizität
$\tan\gamma_a$	Neigung der Radprofile und der Schienenprofile im Kontaktpunkt
$\hat{y}$	Amplitude der Radsatzwellenbewegung
y_{em}	Querverschiebung y bei $\Delta r = 0$
y_{emin}, y_{emax}	minimale und maximale Querverschiebungen y
V	Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeugs
γ	Kontaktwinkel zwischen Rad und Schiene

4 Grundlagen zur Bestimmung der äquivalenten Konizität

4.1 Integration der Radsatzbewegungsgleichung eines konischen Profils

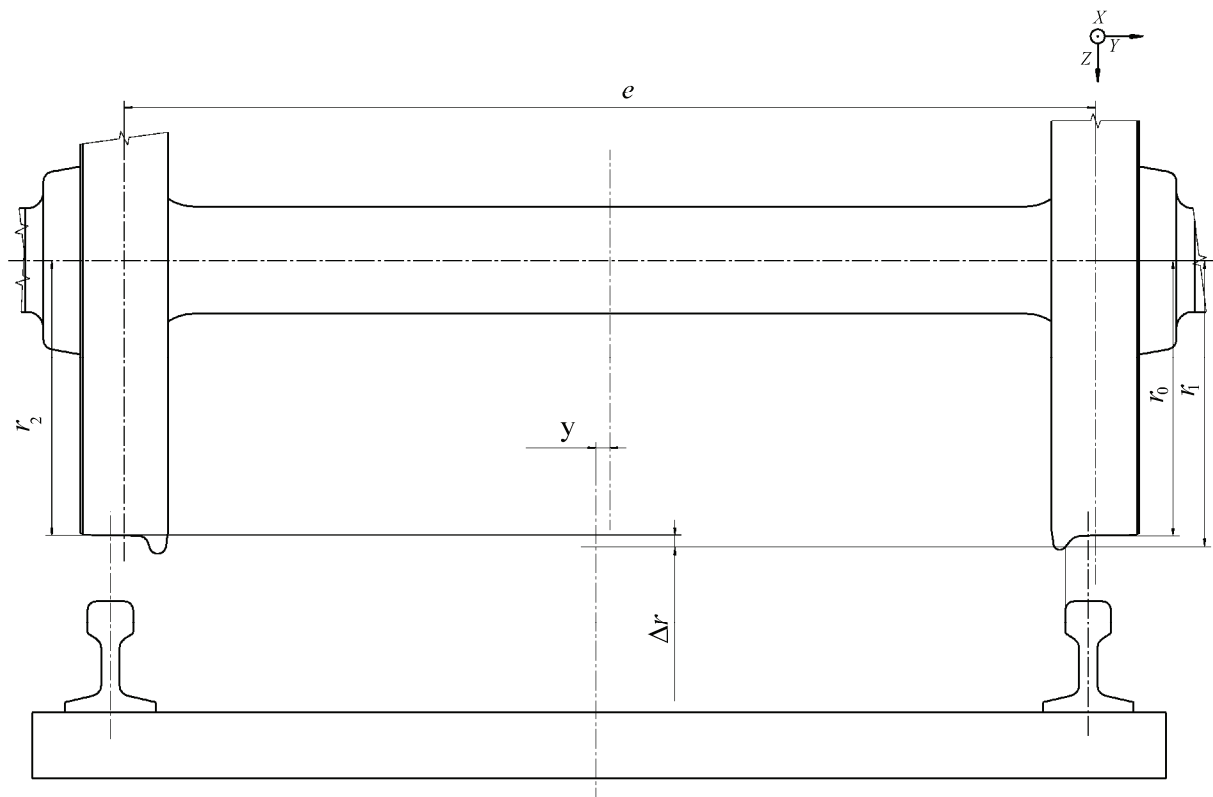


Bild 4 — Maße am Radsatz

Die kinematische Querbewegung eines freien, im Gleis laufenden Radsatzes ohne Trägheit wird durch folgende Differentialgleichung beschrieben:

$$\ddot{y} + \frac{V^2}{er_0} \Delta r = 0 \quad (1)$$

Ohne Einschränkung der Ergebnisse hinsichtlich der Berechnung der äquivalenten Konizität kann die Fahrgeschwindigkeit V des Fahrzeugs zum Zwecke dieser Europäischen Norm als konstant angenommen werden, d. h.:

$$V = \frac{dx}{dt} \quad (2)$$

$$\text{d. h. } \frac{dy}{dt} = V \frac{dy}{dx} \text{ und } \frac{d^2y}{dt^2} = V^2 \frac{d^2y}{dx^2} \quad (3)$$

Die Differentialgleichung wird damit:

$$\frac{d^2y}{dx^2} + \frac{\Delta r}{er_0} = 0 \quad (4)$$

Das zuvor bestimmte $\Delta r = f(y)$ wird zusammen mit folgenden Anfangsbedingungen verwendet:

$$y = y_0 \quad \text{für } x = 0 \quad (5)$$

$$\frac{dy}{dx} = 0 \quad \text{für } x = 0 \quad (6)$$

Diese auf der Anfangsamplitude y_0 basierende Integration führt zu einer periodischen Bewegung des Radsatzes mit einer Doppelamplitude von $2\hat{y}$ und einer Wellenlänge λ , wie in Bild 5 dargestellt.

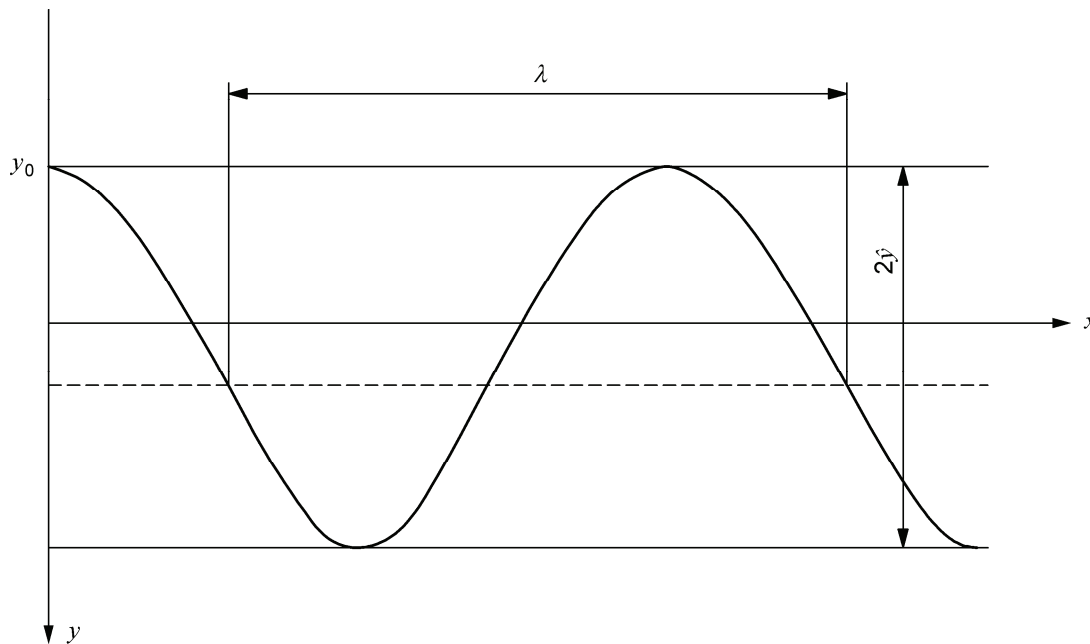


Bild 5 — $y = f(x)$ -Funktion

4.2 Bestimmung der Wellenlänge eines konischen Profils

Bei einem Radsatz mit konischen Radprofilen, mit einem Winkel γ ist die Roll-Radien-Differenz:

$$\Delta r = 2y \tan \gamma \quad (7)$$

Die Differentialgleichung (4) wird damit:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{2 \tan \gamma}{er_0} y = 0 \quad (8)$$

eine Differentialgleichung zweiter Ordnung mit konstanten Koeffizienten, deren Lösung eine Sinuskurve mit der Wellenlänge λ ist:

$$\lambda = 2\pi \sqrt{\frac{er_0}{2 \tan \gamma}} \quad \text{Klingelsche Formel} \quad (9)$$

4.3 Definition der äquivalenten Konizität für nichtlineare Profile

Wenn die Räder des Radsatzes keine konischen Profile aufweisen, kann weiterhin mit Hilfe von Linearisierungsverfahren die lineare Differentialgleichung verwendet werden, wobei $\tan\gamma$ durch $\tan\gamma_e$, die sog. „äquivalente Konizität“, ersetzt wird.

Per Definition entspricht die äquivalente Konizität $\tan\gamma_e$ dem Tangens des Kegelwinkels eines Radsatzes mit konischen Radprofilen, dessen Querbewegung die gleiche kinematische Wellenlänge hat wie die des zugrunde gelegten Radsatzes (nur auf gerader Strecke und in Gleisbögen mit großem Halbmesser):

$$\tan \gamma_e = \left(\frac{\pi}{\lambda} \right)^2 2er_0 \quad (10)$$

Anhang B und Anhang C beschreiben zwei mögliche Verfahren zur Bestimmung der äquivalenten Konizität.

5 Beschreibung des Referenzverfahrens

5.1 Allgemeine Grundlagen

Für das beschriebene Ermittlungsverfahren werden folgende Annahmen zugrunde gelegt:

- für die Berechnung werden Rad und Schiene als starr angesehen;
- die Räder sind über den Umfang gleich und werden durch je ein Profil je Rad dargestellt;
- die Schienen liegen gerade und parallel zueinander und werden durch je ein Profil je Schiene dargestellt;
- das Rad dringt nicht in die Schiene ein; es werden nur Punktkontakte betrachtet;
- das Wanken des Radsatzes (Drehung um eine Achse längs des Gleises) bei der Radsatzquerverschiebung im Gleis wird nicht berücksichtigt.

ANMERKUNG 1 Es wird empfohlen diesen Effekt zu berücksichtigen. In den meisten Anwendungen und in allen Vergleichsberechnungen in diesem Dokument wurde dieser Effekt bisher jedoch vernachlässigt, im Kontaktpunkt sind die Tangentialebenen von Schiene und Rad parallel.

ANMERKUNG 2 Bei der Verwendung von realen Profilen werden die Grundlagen zur Mittelung nach Abschnitt 6, e) und f) angewandt.

Für jedes beliebige Rad- und Schienenprofil (theoretisch oder real) ist es möglich die äquivalente Konizität $\tan\gamma_e$ abhängig von der Querverschiebung y des Radsatzes im Gleis zu bestimmen.

Dies wird durch folgendes Vorgehen erreicht:

- a) Ermittlung der Rad- und Schienenprofile entweder durch Messung der tatsächlichen Profile oder einen theoretischen Ansatz für theoretische Profile;
- b) Bestimmung der Rollradiendifferenz $\Delta r = f(y)$, die für jede Radsatzquerverschiebung y im Gleis die Differenz zwischen dem rechten und linken Rollradius angibt $\Delta r = r_1 - r_2$;
- c) Bestimmung der äquivalenten Konizität für eine Querverschiebung y des Radsatzes im Gleis.

Diese drei definierten Verfahrensschritte werden in 5.2 bis 5.4 erläutert.

5.2 Ermittlung der Rad- bzw. Schienenprofile

5.2.1 Messgrundlagen

Die beiden Schienen des Gleises bzw. die beiden Räder des Radsatzes werden in ein schienenbezogenes Koordinatensystem eingetragen, wobei die x -Achse die Längsachse, die y -Achse die Querachse und die z -Achse die Vertikalachse ist.

Die Rad- und Schienenprofile sind in einem kartesischen Koordinatensystem (y_i, z_i) so zu beschreiben, dass:

- bezüglich des Schienenprofils nicht nur der obere, sondern auch der innere Teil beschrieben wird;
- bezüglich des Radprofils nicht nur die klassische Lauffläche, sondern auch der äußere Teil und der Übergang zum Spurkranz erfasst wird.

Wenn die Profile durch Messungen ermittelt werden, können spezielle Geräte verwendet werden, wie z. B. Rad/Schiene-Messvorrichtungen bzw. automatische Messsysteme auf speziellen Schienenfahrzeugen für Schienenprofile oder ortsfeste Systeme für Radprofile.

Ferner ist im Bericht anzugeben, ob die Profile im belasteten oder unbelasteten Zustand gemessen wurden.

Bei der Verwendung von theoretischen Profilen muss die Neigung berücksichtigt werden.

5.2.2 Genauigkeit des Messsystems

Um die Genauigkeit der Konizitätsberechnung sicherzustellen, muss sich die Messgenauigkeit in folgenden Toleranzen bewegen:

- Differenz der Radradien (gemessen an der Lauffläche): 0,2 mm;
- Radreifenrückenabstand: 0,5 mm;
- Spurweite: 0,5 mm.

Messdaten (Rad- und Schienenprofil) müssen mit der Ermittlungsmethode (Glättung und Berechnung) verträglich sein.

ANMERKUNG 1 Toleranzen für die Durchmesserdivergenz von Rädern eines Radsatzes werden im Dokument prEN 15313 angegeben.

ANMERKUNG 2 Für die Beurteilung der äquivalenten Konizität ist die Summe der Toleranzen von Radreifenrückenabstand und Spurweite der relevante Parameter.

5.3 Bestimmung der Δr -Rollradiendifferenz

Bei der Ermittlung der kartesischen Koordinaten des Rades ist der tatsächliche Laufradius der einzelnen Räder zu berücksichtigen.

Die in einem auf Gleismitte bezogenen Koordinatensystem dargestellten kartesischen Koordinaten beider Räder und beider Schienen können mittels Datenverarbeitungssystemen verarbeitet werden (insbesondere durch Glättung oder Interpolation), um sie im nächsten Verfahrensschritt bestmöglich zu nutzen.

Dann wird die Rollradiendifferenz $\Delta r = f(y)$, die Differenz der Rollradien links und rechts bei einer Querverschiebung y des Radsatzes im Gleis darstellt, relativ zur Mittelstellung und für Querverschiebungen bis zu einem Höchstwert von $\Delta r = r_1 - r_2 = 5$ mm bestimmt, wobei in Schritten von höchstens $\Delta y = 0,2$ mm vorzugehen ist.

ANMERKUNG Ein Beispiel für $\Delta r = f(y)$ ist in Anhang A dargestellt. Die größte Querverschiebung zur Bestimmung der geometrischen Funktionen hängt vom Spurspiel zwischen Rad und Schiene ab.

5.4 Bestimmung der äquivalenten Konizität

Ausgehend von der tatsächlichen Radsatzbewegung wird die äquivalente Konizität für eine Amplitude $\hat{y}$ wie folgt berechnet.

ANMERKUNG In der Praxis wird die Konizität für $\hat{y}$ zwischen 1 mm und 8 mm ermittelt; Anhang A enthält ein Beispiel für die graphische Darstellung. Der Höchstwert von 8 mm kann gegebenenfalls nicht erreicht werden, wenn die Form von $\Delta r = f(y)$ entweder stark nicht-linear ist oder große Sprünge aufweist.

6 Vergleichsberechnung

6.1 Übersicht

Es ist notwendig das anzuwendende Verfahren mittels einer Vergleichsberechnung mit definierten Testprofilen für das gesamte System zur Ermittlung der äquivalenten Konizität zu validieren, weil bei praktischer Anwendung dieser Europäischen Norm die folgenden Punkte nicht definiert sind.

- die Abtastrate der Profilmessung;
- das Glättungsverfahren;
- die Integrationsmethode zur Ermittlung der Wellenlänge.

Sowohl das Verfahren zur Bestimmung der äquivalenten Konizität als auch das Glättungsverfahren für die Profildaten müssen durch eine Vergleichsrechnung mit festgelegten Referenzprofilen validiert werden, wobei Zufalls- und Gitterfehler zu überlagern sind. Dies wird durch drei Schritte erreicht:

- in Schritt 1 werden der Interpolations- und Berechnungsalgorithmus geprüft;
- wurde Schritt 1 erfolgreich durchgeführt, werden in Schritt 2 definierte Fehler auf die Daten aus Schritt 1 angewandt;
- wurde Schritt 2 erfolgreich durchgeführt, wird in Schritt 3 das gesamte potentielle System geprüft.

6.2 Validierung des Berechnungsverfahrens

Für alle Schritte sind die Berechnungen für sämtliche Kombinationen der in Anhang E aufgeführten Referenzprofile durchzuführen, einschließlich des Einflusses von unsymmetrischen Δr -Funktionen in Folge unterschiedlicher Raddurchmesser oder unterschiedlicher Radprofile an den beiden Rädern (siehe E.5 bis E.9).

Wenn die äquivalente Konizität unter Anwendung der EN 14363 bei einer bestimmten Amplitude betrachtet wird und bei dieser Amplitude ein Sprung der Konizität auftritt, wird empfohlen, weitere Messungen und/oder Berechnungen durchzuführen, um den praktischen Anwendungsfall besser zu verstehen. Die weiteren Messungen werden dann in die Beurteilung des potentiellen Verfahrens, bestehend aus dem Mess- und Berechnungsalgorithmus, einbezogen.

ANMERKUNG 1 Die in Anhang D angegebenen Referenzprofile werden lediglich für die Vergleichsberechnung festgelegt, um den Algorithmus unter möglichst vielfältigen Bedingungen zu prüfen. Sie haben keinerlei praktische Bedeutung für die Konzeption eines realen Profils.

Schritt 1

In Schritt 1 ist der zu prüfende Interpolations- und Berechnungsalgorithmus auf die Referenzprofile in Anhang D anzuwenden. Die erzielten Ergebnisse müssen mit den Referenzergebnissen in Anhang E und dem definierten Bereich der erlaubten Toleranzen in Anhang F verglichen werden. Die erzielten Ergebnisse müssen innerhalb des in Anhang F angegebenen Toleranzbereichs liegen, damit Schritt 1 vom Berechnungsalgorithmus erfolgreich absolviert wird (siehe Bild 1).

Schritt 2

In Schritt 2 muss das Glättungsverfahren beurteilt werden. Die Berechnungen aus Schritt 1 werden wiederholt. In Schritt 2 muss der Glättungs-, Interpolations- und Berechnungsalgorithmus auf die Referenzprofile in Anhang D, überlagert mit allen in Anhang G angegebenen Fehlern, angewandt werden.

Es sind getrennte Berechnungen anzustellen, um die Auswirkungen eines Zufallsfehlers oder eines Rasters zu bestimmen, wenn der Fehler lediglich ein Rad, nur eine Schiene oder ein Rad und eine Schiene betrifft.

Die Auswirkungen sind für die z -, y -, und $(z + y)$ -Richtung in Abhängigkeit des Messsystems anzugeben. Für nicht kartesische Messsysteme sollten geeignete Koordinaten verwendet werden.

Für jeden Fall sollte eine ausreichende Anzahl von Berechnungen (≥ 20) für unterschiedliche Zufallsfehler in Bezug auf die Ursprungsrasterposition und die Zufallsgrenze (siehe Anhang H) durchgeführt werden.

Die Beurteilung des Bewertungsverfahrens (siehe Bild 2) muss durch einen Vergleich der erzielten Ergebnisse mit den Referenzergebnissen, einschließlich des Toleranzbereichs in Anhang F erfolgen.

ANMERKUNG 2 Die Darstellungen in Anhang G zeigen Ergebnisse typischer Berechnungen. Diese Ergebnisse werden als akzeptabel angesehen.

Schritt 3

In Schritt 3 wird überprüft, ob das gesamte System des potentiellen Verfahrens ausreichend genaue Ergebnisse erzeugt. Die Berechnungen aus Schritt 2 werden mit Hilfe der Toleranzen des zu beurteilenden Mess- und Digitalisierungssystems, anstelle der in Schritt 2 vorgeschriebenen Fehler, wiederholt.

ANMERKUNG 3 Die Darstellungen in Anhang G zeigen Ergebnisse typischer Berechnungen. Diese Ergebnisse werden als akzeptabel angesehen.

Anhang A (informativ)

Beispiel für die Darstellung der Funktion Δr und der Konizität

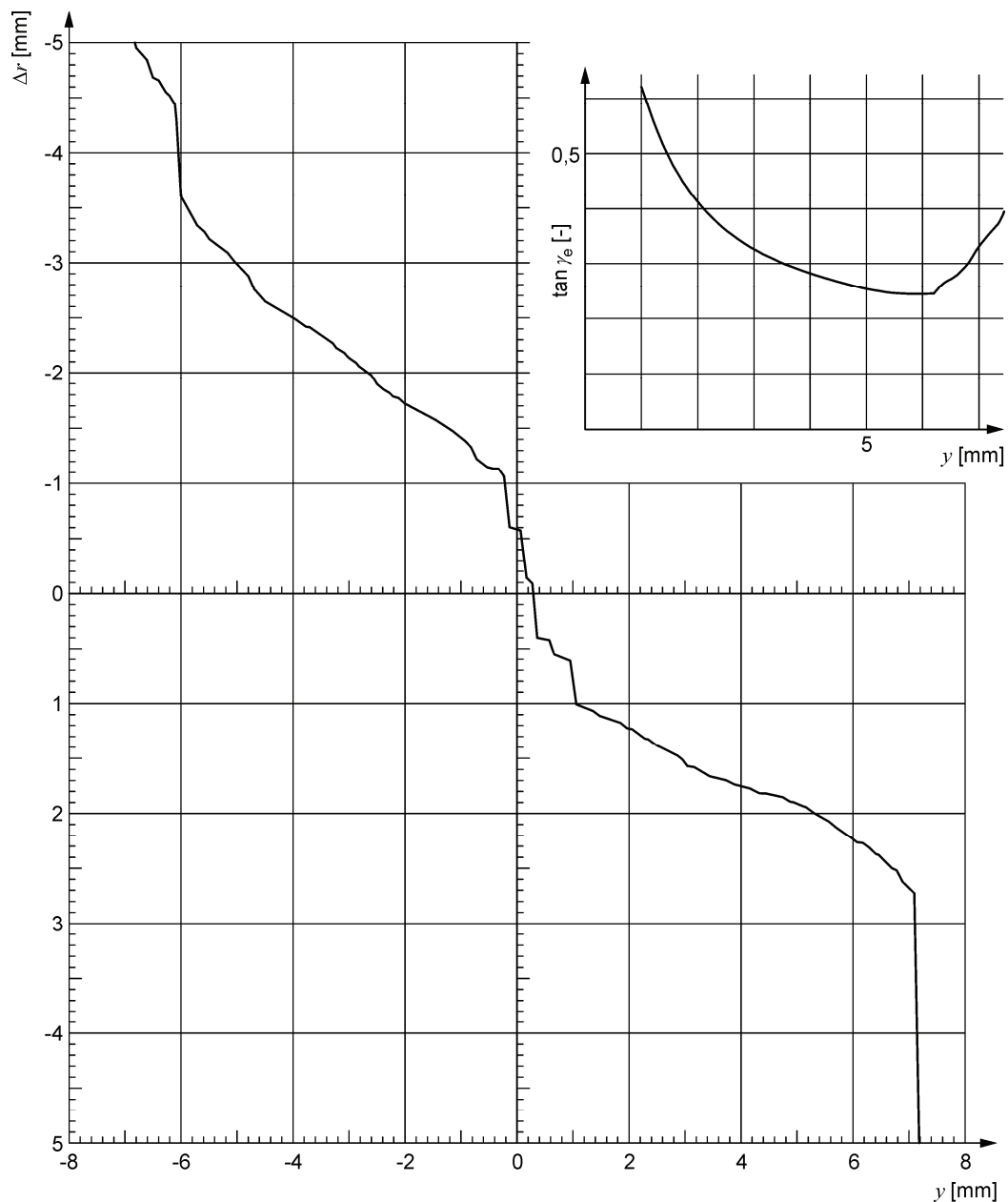


Bild A.1 — Funktionen $\Delta r = f(y)$ und $\tan \gamma_e = f(y)$

Anhang B (informativ)

Beispiel für das Verfahren zur Bestimmung der äquivalenten Konizität durch Integration der nichtlinearen Differentialgleichung

B.1 Grundsatz

Die Radsatzbewegung im Gleis kann anhand des Winkels bestimmt werden:

$$\Psi = \frac{\dot{y}}{\dot{x}} = \frac{dy}{dx} \quad (\text{B.1})$$

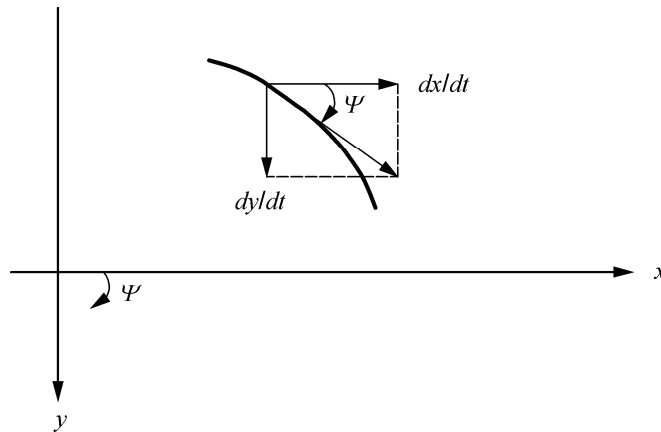


Bild B.1 — Darstellung von dx, dy

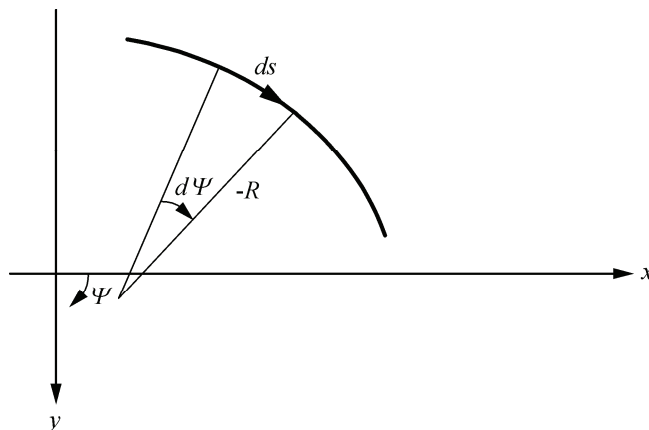


Bild B.2 — Darstellung von $ds, d\Psi$

$$ds = -R d\Psi$$

für einen kleinen Winkel Ψ , $ds \cong dx$

$$dx = -R d\Psi$$

(B.2)

und unter Berücksichtigung von Gleichung (B.1) erhält man:

$$\Psi = \frac{dy}{dx} = - \frac{dy}{R d\Psi}$$

d. h.

$$\Psi d\Psi = - \frac{dy}{R} \quad (\text{B.3})$$

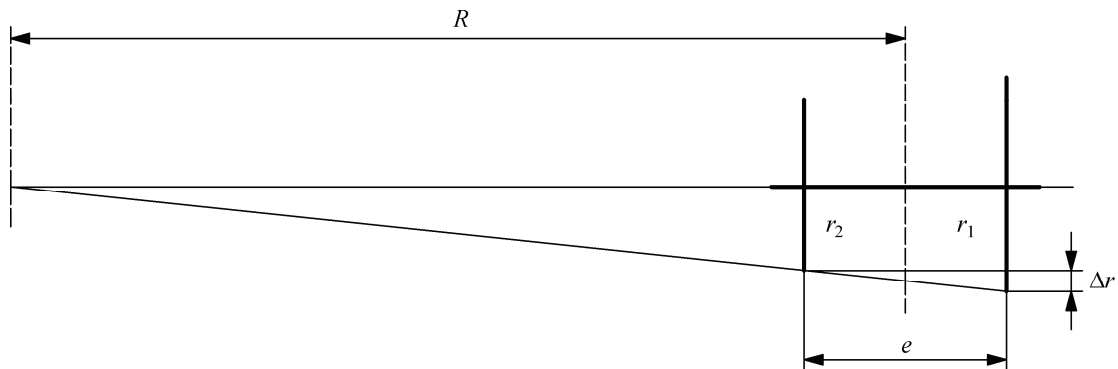


Bild B.3 — Darstellung von r_1 , r_2 , e

$$\frac{R}{e} = \frac{\frac{r_1 + r_2}{2}}{r_1 - r_2}$$

Dabei ist

$$\frac{r_1 + r_2}{2} = r_0 \quad \text{der Nennhalbmesser der einzelnen Räder}$$

$$r_1 - r_2 = \Delta r$$

e der Abstand zwischen den linken und rechten Kontaktpunkten (etwa 1 500 mm bei Normalspur).

Folglich erhält man:

$$R = \frac{er_0}{\Delta r} \quad (\text{B.4})$$

danach wird R in (B.3) übernommen; dies ergibt:

$$\Psi d\Psi = \frac{-\Delta r dy}{er_0} \quad (\text{B.5})$$

Was durch Integration folgende Gleichung ergibt:

$$\frac{\psi^2}{2} = -\frac{1}{er_0} \left[\int \Delta r dy + C \right] \quad (\text{B.6})$$

Mit dieser Integration erhält man die Radsatzbewegung im Gleis, insbesondere ergibt sich die halbe Wellenlänge, wenn man von y_{emin} (wobei $\psi_{\text{emin}} = 0$ ist) beginnend bis y_{emax} (wobei $\psi_{\text{emax}} = 0$ ist) geht.

Um den anschließend benötigten Bereich (siehe Bild B.6) abzudecken, ist das Integral $\int \Delta r \cdot dy$ lediglich einmal für ausreichend große Amplituden zu berechnen.

Die Radsatzbewegung im Gleis erhält man durch folgende Integration:

$$dx = \frac{1}{\psi} dy \text{ ergibt } x = \int \frac{dy}{\psi}$$

ANMERKUNG Gleichung (B.5) entspricht der Differentialgleichung $\frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{\Delta r}{er_0} = 0$

Das bedeutet

$$\psi = \frac{dy}{dx}$$

$$\frac{d\psi}{dx} = \frac{d^2 y}{dx^2}$$

Die Differentialgleichung lautet daher wie folgt:

$$\frac{d\psi}{dx} + \frac{\Delta r}{er_0} = 0$$

$$\text{mit } dx = \frac{dy}{\psi}$$

gilt

$$\frac{\psi}{dy} d\psi + \frac{\Delta r}{er_0} = 0$$

so dass

$$\psi d\psi = -\frac{\Delta r dy}{er_0}$$

B.2 Verfahrensschritte

Dieses Verfahren wird praktisch wie folgt angewandt:

- Unter Berücksichtigung der Funktion $\Delta r = r_1 - r_2 = f(y)$, bestimmt man den $\Delta r = 0$ (Bild B.5) entsprechenden Wert für y_{em} .
- Die Funktion $S(y) = -\int \Delta r \cdot dy$ wird integriert, und zwar ausgehend von y_{em} in Schritten von $dy = +0,1$ mm in Richtung $+y$ und ausgehend von y_{em} in Schritten von $dy = -0,1$ mm in Richtung $-y$ (unteres Diagramm des Bildes B.6).
- Dann erfolgt die Bestimmung der entsprechenden Amplituden y_{emin} und y_{emax} und Berechnung der mittleren Querverschiebung $\hat{y}$ (siehe Bild B.6).
- Die Funktionen $y_{emin} = f(\hat{y})$ und $y_{emax} = f(\hat{y})$ werden berechnet, mit denen man für eine gegebene Radsatzquerverschiebung von $2 \hat{y}$ die y_{emin} und y_{emax} entsprechenden Amplituden bestimmen kann (siehe Bild B.7).
- Die Berechnung der äquivalenten Konizität $\tan \gamma_e$ für eine Verschiebung $\hat{y}$ erfolgt:

- durch Bestimmung der Konstanten C der Gleichung (6) (Bild B.8) so dass für das entsprechende y_{emin} , $\psi_{emin} = 0$ ist;
- durch Berechnung des Winkels ψ mittels Integration der Gleichung (5), die dann wie folgt lautet:

$$\psi = \sqrt{\frac{-2}{er_0}} \left[\int \Delta r dy + C \right]$$

wobei in Schritten von $dy = 0,1$ mm vorzugehen ist

- durch Berechnung der Abszisse der Radsatzbewegung:

$$x = f(y) = \int \frac{dy}{\psi} \text{ zwischen } y_{emin} \text{ und } y_{emax}$$

mit der die Wellenlänge λ der kinematischen Radsatzbewegung bestimmt werden kann.

In den meisten Fällen kann die Integration nicht nur in einem Schritt von y_{emin} bis y_{emax} vollzogen werden.

Daher ist die Wellenlänge x durch Summierung von $dx = \frac{dy}{\psi}$ zu berechnen, wobei der Schritt von $dy \leq 0,1$ mm sein muss.

- durch Berechnung der äquivalenten Konizität mittels der Klingelschen Formel

$$\tan \gamma_e = \left(\frac{\pi}{\lambda} \right)^2 2er_0$$

- Die Bestimmung der Funktion $\tan \gamma_e = f(\hat{y})$ durch Anwendung von Schritt B.2 e) für Amplituden $\hat{y}$ von 1 mm bis zu dem durch $\Delta r = f(y)$ zulässigen Höchstwert, mit einem maximalen Schritt $\Delta \hat{y} = 0,5$ mm.

B.3 Besonderheiten

— Merkmal $\Delta r = f(y)$ mit negativer Steigung

Weist die Rollradiendifferenz $\Delta r = f(y)$ eine negative Steigung auf, ist für y_{em} der am besten geeignete Punkt zu wählen.

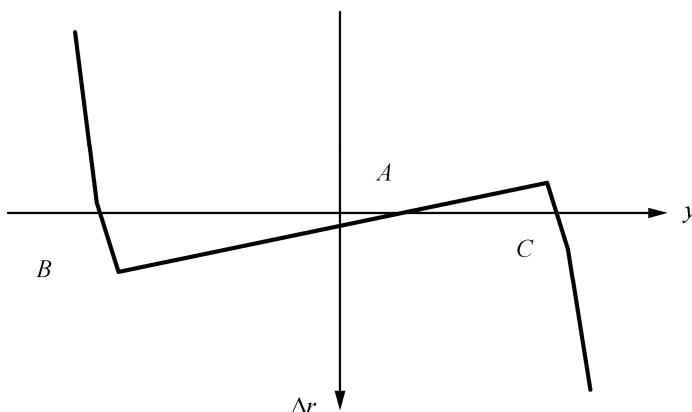


Bild B.4 — Merkmal $\Delta r = f(y)$ mit negativer Steigung

In dem im Bild angeführten Beispiel darf man nicht Punkt A als y_{em} wählen, sondern vielmehr Punkt B oder Punkt C, je nach Ausgangslage des Radsatzes.

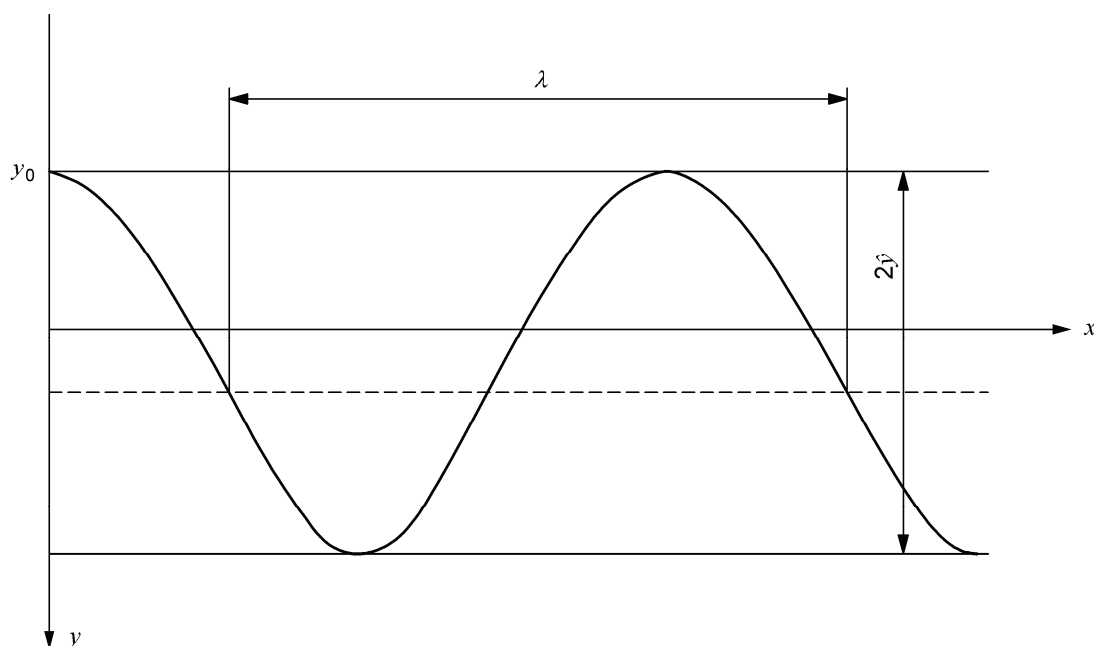
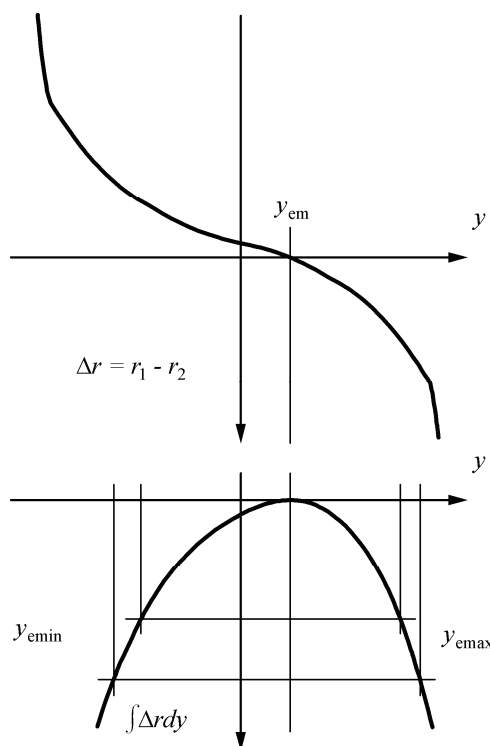


Bild B.5 — Berechnung des Integrals $\int \Delta r dy$



Bestimmung von y_{em} : $\Delta r = 0$

Berechnung:

$$\int_{y_{em}}^{+y} \Delta r dy = f(y)$$

$$\int_{y_{em}}^{-y} \Delta r(-dy) = f(y)$$

Bestimmung der entsprechenden:

y_{emmin} , y_{emmax} und

$$\hat{y} = (y_{emmax} - y_{emmin})/2$$

Bild B.6 — Bestimmung von y_{em} , Berechnung von $\int \Delta r dy$ und Bestimmung von $\hat{y}$

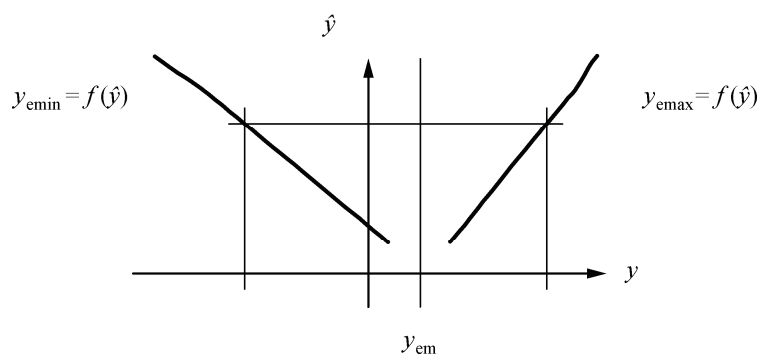


Bild B.7 — Bestimmung der Funktionen $y_{emmin} = f(\hat{y})$ und $y_{emmax} = f(\hat{y})$

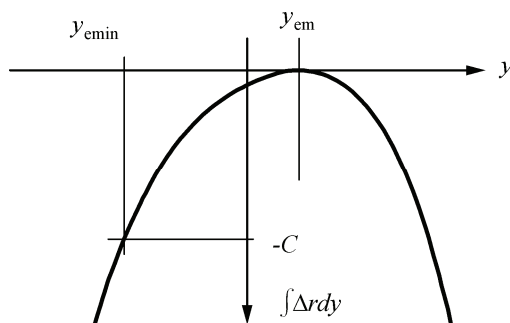


Bild B.8 — Bestimmung der Konstanten C

Anhang C (informativ)

Beispiel für das Verfahren zur Bestimmung der äquivalenten Konizität durch lineare Regression der Funktion Δr

C.1 Grundsätze

Für eine lineare Δr -Funktion gilt: die Steigung der Δr -Funktion entspricht $2\tan\gamma_e$.

Für eine nichtlineare Δr -Funktion gilt: die Steigung der linearen Regression ergibt eine Annäherung an $2\tan\gamma_e$.

Für ein Intervall von $2\hat{y}$ ist die Regression der Δr -Funktion zwischen y_{emin} und y_{emax} durchzuführen, die die minimalen und maximalen Amplituden der tatsächlichen Wellenform darstellen.

Für symmetrische Δr -Funktionen gilt: y_{emin} und y_{emax} entsprechen der mittleren Amplitude $\hat{y}$, wohingegen bei asymmetrischen Δr -Funktionen y_{emin} und y_{emax} in der Regel nicht $\hat{y}$ entsprechen.

Für eine mittlere Amplitude $\hat{y}$ können die minimalen und maximalen Amplituden y_{emin} und y_{emax} nach Anhang B berechnet werden.

C.2 Verfahrensschritte

In der Praxis wird dieses Verfahren folgendermaßen angewandt:

- Unter Berücksichtigung der Funktion $\Delta r = r_1 - r_2 = f(y)$ bestimmt man den $\Delta r = 0$ (Bild B.5) entsprechenden Wert für y_{em} .
- Die Funktion $S(y) = -\int \Delta r dy$ wird integriert, und zwar ausgehend von y_{em} in Schritten von $dy = +0,1$ mm in Richtung $+y$ und ausgehend von y_{em} in Schritten von $dy = -0,1$ mm in Richtung $-y$ (unteres Diagramm in Bild B.6).
- Dann erfolgt die Bestimmung der entsprechenden Amplituden y_{emin} und y_{emax} und Berechnung der mittleren Querverschiebung $\hat{y}$ (Bild B.6).
- Weiterhin wird die Bestimmung der Funktionen $y_{emin} = f(\hat{y})$ und $y_{emax} = f(\hat{y})$ durchgeführt, mit denen man für eine gegebene Radsatzquerverschiebung von $2\hat{y}$, die y_{emin} und y_{emax} entsprechenden minimalen und maximalen Amplituden bestimmen kann (Bild B.7).
- Dann erfolgt die Berechnung der linearen Regression der Δr -Funktion für den Bereich zwischen y_{emin} und y_{emax} und die Berechnung der äquivalenten Konizität durch $\tan\gamma_e = \frac{B}{2}$ wobei B gleich der Regressionssteigung ist.
- Die Funktion $\tan\gamma_e = f(\hat{y})$ wird durch Anwendung von Schritt C.2.e) bestimmt. Für Amplituden $\hat{y}$ von 1 mm bis zu dem durch $\Delta r = f(y)$ zulässigen Höchstwert, mit einem maximalen Schritt $\Delta\hat{y} = 0,5$ mm.

C.3 Besonderheiten

Wenn die Rollradiendifferenz $\Delta r = f(y)$ im Intervall $2\hat{y}$ um den Nullpunkt eine starke Asymmetrie aufweist, die zwei Abschnitten einer Gerade gleichkommt; wird empfohlen, auf jeden Teil (positiv und negativ) eine Regression anzuwenden, womit zwei Konizitäten $\tan\gamma_{e,p}$ und $\tan\gamma_{e,n}$ ermittelt werden können. Die äquivalente Konizität wird dann wie folgt berechnet:

$$\tan\gamma_e = \left[\frac{2}{\frac{1}{\sqrt{\tan\gamma_{e,p}}} + \frac{1}{\sqrt{\tan\gamma_{e,n}}}} \right]^2$$

Anhang D (normativ)

Referenzprofile

D.1 Rad A

D.1.1 Kurvenverlauf

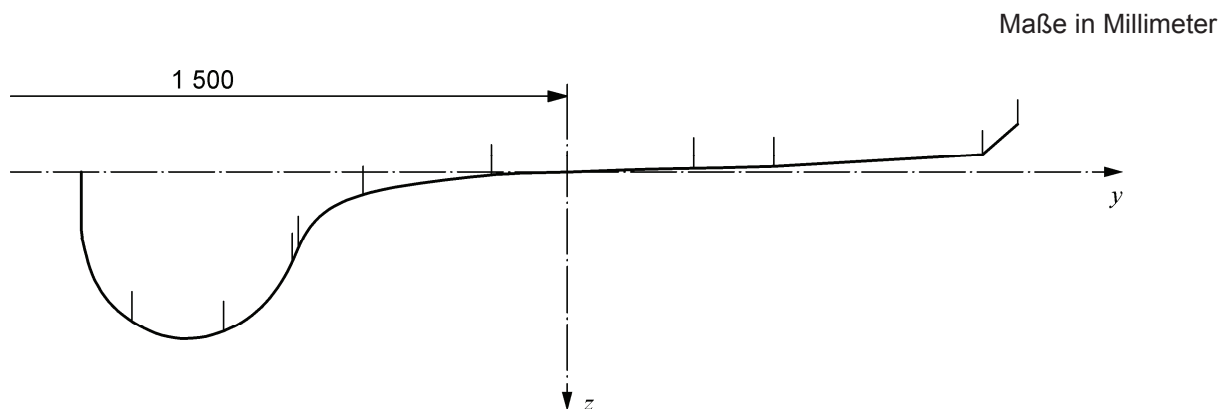


Bild D.1 — Rad A

D.1.2 Analytische Definition

Für die Koordinaten des Profils auf der z -Achse gelten folgende Bandbreiten:

Von $y = -70$	bis $y = -62,764\ 7$	: $z = +9,519\ 3 + (20,5^2 - (y + 49,5)^2)^{0,5}$
Von $y = -62,764\ 7$	bis $y = -49,662\ 5$	: $z = +16 + (12^2 - (y + 55)^2)^{0,5}$
Von $y = -49,662\ 5$	bis $y = -39,764\ 5$	: $z = +8,834\ 9 + (20^2 - (y + 58,558\ 3)^2)^{0,5}$
Von $y = -39,764\ 5$	bis $y = -38,737\ 2$	: $z = -93,576\ 7 - 2,747\ 5 \times y$
Von $y = -38,737\ 2$	bis $y = -29,459\ 1$	: $z = +17,642\ 1 - (14^2 - (y + 25,581\ 6)^2)^{0,5}$
Von $y = -29,459\ 1$	bis $y = -10,874\ 9$	: $z = +97,16492 - (96,760\ 5^2 - (y + 2,659\ 4)^2)^{0,5}$
Von $y = -10,874\ 9$	bis $y = +18,417\ 3$	: $z = +344,508\ 1 - (345^2 - (y - 18,417\ 3)^2)^{0,5}$
Von $y = +18,417\ 3$	bis $y = +30$	: $z = -0,4919 + 0 \times y$
Von $y = +30$	bis $y = +60$	: $z = +1,509\ 1 - 0,066\ 7 \times y$
Von $y = +60$	bis $y = +65$	: $z = +57,507\ 1 - 1 \times y$

D.1.3 Kartesische Koordinaten

Tabelle D.1 — Radprofil: R-UIC 519-A — Rechtes Rad

Maße in Millimeter

y	z	y	z	y	z
-70,000	9,519	-20,000	1,971	30,000	-0,492
-69,000	15,844	-19,000	1,794	31,000	-0,559
-68,000	18,351	-18,000	1,628	32,000	-0,625
-67,000	20,196	-17,000	1,473	33,000	-0,692
-66,000	21,685	-16,000	1,328	34,000	-0,759
-65,000	22,936	-15,000	1,195	35,000	-0,825
-64,000	24,011	-14,000	1,071	36,000	-0,892
-63,000	24,947	-13,000	0,959	37,000	-0,959
-62,000	25,747	-12,000	0,856	38,000	-1,026
-61,000	26,392	-11,000	0,765	39,000	-1,092
-60,000	26,909	-10,000	0,680	40,000	-1,159
-59,000	27,314	-9,000	0,599	41,000	-1,226
-58,000	27,619	-8,000	0,521	42,000	-1,292
-57,000	27,832	-7,000	0,446	43,000	-1,359
-56,000	27,958	-6,000	0,373	44,000	-1,426
-55,000	28,000	-5,000	0,304	45,000	-1,492
-54,000	27,958	-4,000	0,237	46,000	-1,559
-53,000	27,832	-3,000	0,174	47,000	-1,626
-52,000	27,619	-2,000	0,113	48,000	-1,693
-51,000	27,314	-1,000	0,055	49,000	-1,759
-50,000	26,909	0,000	0,000	50,000	-1,826
-49,000	26,403	1,000	-0,052	51,000	-1,893
-48,000	25,821	2,000	-0,101	52,000	-1,959
-47,000	25,157	3,000	-0,147	53,000	-2,026
-46,000	24,401	4,000	-0,191	54,000	-2,093
-45,000	23,538	5,000	-0,231	55,000	-2,159
-44,000	22,548	6,000	-0,268	56,000	-2,226
-43,000	21,402	7,000	-0,303	57,000	-2,293
-42,000	20,052	8,000	-0,335	58,000	-2,360
-41,000	18,411	9,000	-0,363	59,000	-2,426
-40,000	16,291	10,000	-0,389	60,000	-2,493
-39,000	13,576	11,000	-0,412	61,000	-3,493
-38,000	11,178	12,000	-0,432	62,000	-4,493
-37,000	9,541	13,000	-0,449	63,000	-5,493
-36,000	8,290	14,000	-0,464	64,000	-6,493
-35,000	7,284	15,000	-0,475	65,000	-7,493
-34,000	6,456	16,000	-0,483		
-33,000	5,769	17,000	-0,489		
-32,000	5,200	18,000	-0,492		
-31,000	4,733	19,000	-0,492		
-30,000	4,358	20,000	-0,492		
-29,000	4,059	21,000	-0,492		
-28,000	3,782	22,000	-0,492		
-27,000	3,516	23,000	-0,492		
-26,000	3,262	24,000	-0,492		
-25,000	3,019	25,000	-0,492		
-24,000	2,787	26,000	-0,492		
-23,000	2,567	27,000	-0,492		
-22,000	2,357	28,000	-0,492		
-21,000	2,159	29,000	-0,492		

D.2 Rad B

D.2.1 Kurvenverlauf

Maße in Millimeter

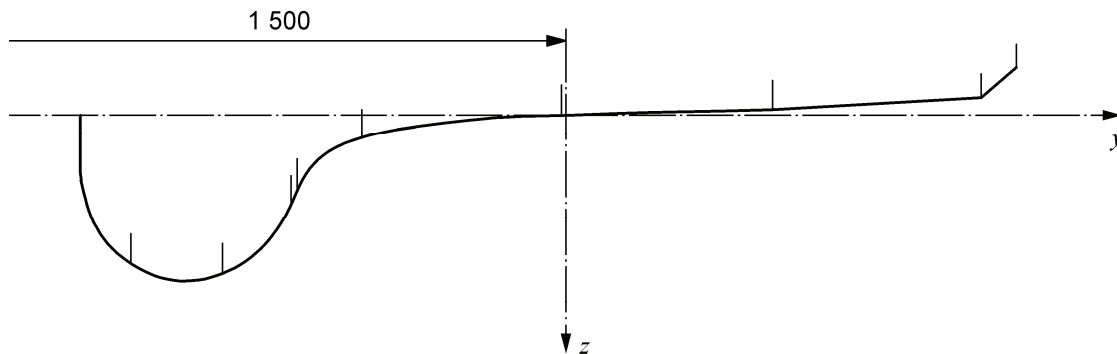


Bild D.2 — Rad B

D.2.2 Analytische Definition

Für die Koordinaten des Profils auf der z -Achse gelten folgende Bandbreiten:

Von $y = -70$	bis $y = -62,764\ 7$	: $z = +9,519\ 3 + (20,5^2 - (y + 49,5)^2)^{0,5}$
Von $y = -62,764\ 7$	bis $y = -49,662\ 5$	: $z = +16 + (12^2 - (y + 55)^2)^{0,5}$
Von $y = -49,662\ 5$	bis $y = -39,764\ 5$	: $z = +8,834\ 9 + (20^2 - (y + 58,558\ 3)^2)^{0,5}$
Von $y = -39,764\ 5$	bis $y = -38,787\ 9$	: $z = -93,576\ 7 - 2,747\ 5 \times y$
Von $y = -38,787\ 9$	bis $y = -29,350\ 5$	: $z = +17,781\ 4 - (14^2 - (y + 25,632\ 2)^2)^{0,5}$
Von $y = -29,350\ 5$	bis $y = -0,478\ 7$	: $z = +119,974\ 5 - (120^2 - (y - 2,520\ 4)^2)^{0,5}$
Von $y = -0,478\ 7$	bis $y = +30$	: $z = +0 - 0,025 \times y$
Von $y = +30$	bis $y = +60$	: $z = +0,75 - 0,05 \times y$
Von $y = +60$	bis $y = +65$	: $z = +57,75 - 1 \times y$

D.2.3 Kartesische Koordinaten

Tabelle D.2 — Radprofil: R-UIC 519-B — Rechtes Rad

Maße in Millimeter

y	z	y	z	y	z
-70,000	9,519	-20,000	2,107	30,000	-0,750
-69,000	15,844	-19,000	1,920	31,000	-0,800
-68,000	18,351	-18,000	1,742	32,000	-0,850
-67,000	20,196	-17,000	1,573	33,000	-0,900
-66,000	21,685	-16,000	1,412	34,000	-0,950
-65,000	22,936	-15,000	1,260	35,000	-1,000
-64,000	24,011	-14,000	1,117	36,000	-1,050
-63,000	24,947	-13,000	0,982	37,000	-1,100
-62,000	25,747	-12,000	0,856	38,000	-1,150
-61,000	26,392	-11,000	0,739	39,000	-1,200
-60,000	26,909	-10,000	0,629	40,000	-1,250
-59,000	27,314	-9,000	0,529	41,000	-1,300
-58,000	27,619	-8,000	0,437	42,000	-1,350
-57,000	27,832	-7,000	0,353	43,000	-1,400
-56,000	27,958	-6,000	0,277	44,000	-1,450
-55,000	28,000	-5,000	0,210	45,000	-1,500
-54,000	27,958	-4,000	0,152	46,000	-1,550
-53,000	27,832	-3,000	0,102	47,000	-1,600
-52,000	27,619	-2,000	0,060	48,000	-1,650
-51,000	27,314	-1,000	0,026	49,000	-1,700
-50,000	26,909	0,000	0,000	50,000	-1,750
-49,000	26,403	1,000	-0,025	51,000	-1,800
-48,000	25,821	2,000	-0,050	52,000	-1,850
-47,000	25,157	3,000	-0,075	53,000	-1,900
-46,000	24,401	4,000	-0,100	54,000	-1,950
-45,000	23,538	5,000	-0,125	55,000	-2,000
-44,000	22,548	6,000	-0,150	56,000	-2,050
-43,000	21,402	7,000	-0,175	57,000	-2,100
-42,000	20,052	8,000	-0,200	58,000	-2,150
-41,000	18,411	9,000	-0,225	59,000	-2,200
-40,000	16,291	10,000	-0,250	60,000	-2,250
-39,000	13,576	11,000	-0,275	61,000	-3,250
-38,000	11,221	12,000	-0,300	62,000	-4,250
-37,000	9,610	13,000	-0,325	63,000	-5,250
-36,000	8,373	14,000	-0,350	64,000	-6,250
-35,000	7,377	15,000	-0,375	65,000	-7,250
-34,000	6,557	16,000	-0,400		
-33,000	5,877	17,000	-0,425		
-32,000	5,313	18,000	-0,450		
-31,000	4,851	19,000	-0,475		
-30,000	4,480	20,000	-0,500		
-29,000	4,188	21,000	-0,525		
-28,000	3,921	22,000	-0,550		
-27,000	3,662	23,000	-0,575		
-26,000	3,413	24,000	-0,600		
-25,000	3,173	25,000	-0,625		
-24,000	2,942	26,000	-0,650		
-23,000	2,720	27,000	-0,675		
-22,000	2,506	28,000	-0,700		
-21,000	2,302	29,000	-0,725		

D.3 Rad H

D.3.1 Kurvenverlauf

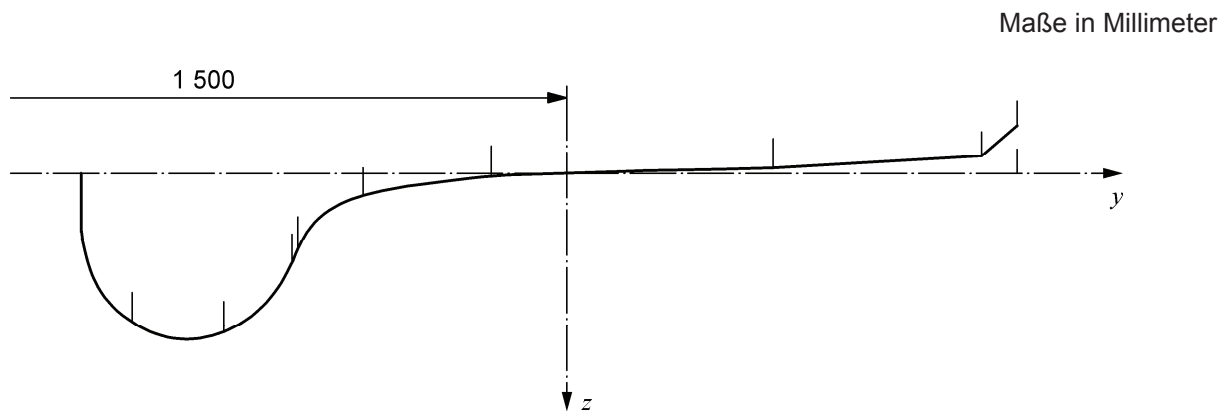


Bild D.3 — Rad H

D.3.2 Analytische Definition

Für die Koordinaten des Profils auf der z -Achse gelten folgende Bandbreiten:

Von $y = -70$	bis $y = -62,764\ 7$	: $z = +9,519\ 3 + (20,5^2 - (y + 49,5)^2)^{0,5}$
Von $y = -62,764\ 7$	bis $y = -49,662\ 5$	: $z = +16 + (12^2 - (y + 55)^2)^{0,5}$
Von $y = -49,662\ 5$	bis $y = -39,764\ 5$	: $z = +8,834\ 9 + (20^2 - (y + 58,558\ 3)^2)^{0,5}$
Von $y = -39,764\ 5$	bis $y = -38,722$	: $z = -93,576\ 7 - 2,747\ 5 \times y$
Von $y = -38,722$	bis $y = -28,311\ 9$	: $z = +17,600\ 3 - (14^2 - (y + 25,566\ 3)^2)^{0,5}$
Von $y = -28,311\ 9$	bis $y = -10,229\ 7$	: $z = -1,790\ 2 - 0,2 \times y$
Von $y = -10,229\ 7$	bis $y = +30$	: $z = +0 - 0,025 \times y$
Von $y = +30$	bis $y = +60$	: $z = +1,251 - 0,066\ 7 \times y$
Von $y = +60$	bis $y = +65$	: $z = +57,249 - 1 \times y$

D.3.3 Kartesische Koordinaten

Tabelle D.3 — Radprofil: R-UIC 519-H — Rechtes Rad

Maße in Millimeter

y	z	y	z	y	z
-70,000	9,519	-20,000	2,210	30,000	-0,750
-69,000	15,844	-19,000	2,010	31,000	-0,817
-68,000	18,351	-18,000	1,810	32,000	-0,883
-67,000	20,196	-17,000	1,610	33,000	-0,950
-66,000	21,685	-16,000	1,410	34,000	-1,017
-65,000	22,936	-15,000	1,210	35,000	-1,084
-64,000	24,011	-14,000	1,010	36,000	-1,150
-63,000	24,947	-13,000	0,810	37,000	-1,217
-62,000	25,747	-12,000	0,610	38,000	-1,284
-61,000	26,392	-11,000	0,410	39,000	-1,350
-60,000	26,909	-10,000	0,250	40,000	-1,417
-59,000	27,314	-9,000	0,225	41,000	-1,484
-58,000	27,619	-8,000	0,200	42,000	-1,550
-57,000	27,832	-7,000	0,175	43,000	-1,617
-56,000	27,958	-6,000	0,150	44,000	-1,684
-55,000	28,000	-5,000	0,125	45,000	-1,751
-54,000	27,958	-4,000	0,100	46,000	-1,817
-53,000	27,832	-3,000	0,075	47,000	-1,884
-52,000	27,619	-2,000	0,050	48,000	-1,951
-51,000	27,314	-1,000	0,025	49,000	-2,017
-50,000	26,909	0,000	0,000	50,000	-2,084
-49,000	26,403	1,000	-0,025	51,000	-2,151
-48,000	25,821	2,000	-0,050	52,000	-2,217
-47,000	25,157	3,000	-0,075	53,000	-2,284
-46,000	24,401	4,000	-0,100	54,000	-2,351
-45,000	23,538	5,000	-0,125	55,000	-2,418
-44,000	22,548	6,000	-0,150	56,000	-2,484
-43,000	21,402	7,000	-0,175	57,000	-2,551
-42,000	20,052	8,000	-0,200	58,000	-2,618
-41,000	18,411	9,000	-0,225	59,000	-2,684
-40,000	16,291	10,000	-0,250	60,000	-2,751
-39,000	13,576	11,000	-0,275	61,000	-3,751
-38,000	11,166	12,000	-0,300	62,000	-4,751
-37,000	9,521	13,000	-0,325	63,000	-5,751
-36,000	8,266	14,000	-0,350	64,000	-6,751
-35,000	7,256	15,000	-0,375	65,000	-7,751
-34,000	6,426	16,000	-0,400		
-33,000	5,737	17,000	-0,425		
-32,000	5,166	18,000	-0,450		
-31,000	4,698	19,000	-0,475		
-30,000	4,321	20,000	-0,500		
-29,000	4,028	21,000	-0,525		
-28,000	3,810	22,000	-0,550		
-27,000	3,610	23,000	-0,575		
-26,000	3,410	24,000	-0,600		
-25,000	3,210	25,000	-0,625		
-24,000	3,010	26,000	-0,650		
-23,000	2,810	27,000	-0,675		
-22,000	2,610	28,000	-0,700		
-21,000	2,410	29,000	-0,725		

D.4 Rad I

D.4.1 Kurvenverlauf

Maße in Millimeter

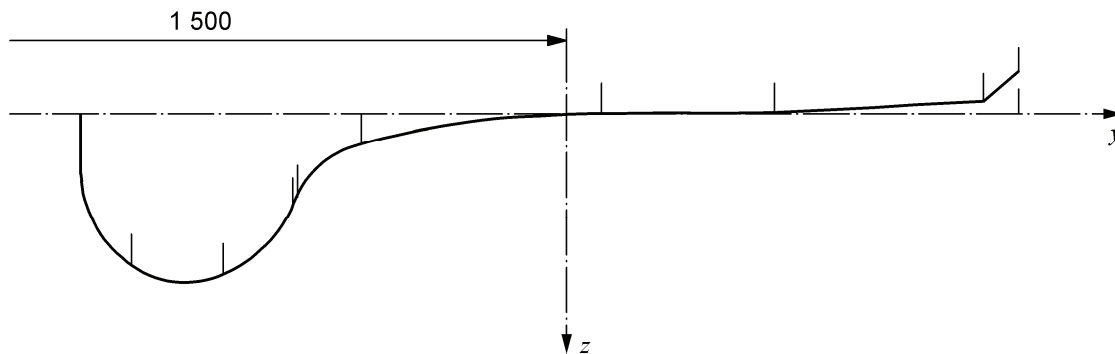


Bild D.4 — Rad I

D.4.2 Analytische Definition

Für die Koordinaten des Profils auf der z -Achse gelten folgende Bandbreiten:

Von $y = -70$	bis $y = -62,764\ 7$	: $z = +9,519\ 3 + (20,5^2 - (y + 49,5)^2)^{0,5}$
Von $y = -62,764\ 7$	bis $y = -49,662\ 5$	: $z = +16 + (12^2 - (y + 55)^2)^{0,5}$
Von $y = -49,662\ 5$	bis $y = -39,764\ 5$	: $z = +8,834\ 9 + (20^2 - (y + 58,558\ 3)^2)^{0,5}$
Von $y = -39,764\ 5$	bis $y = -39,048\ 6$	: $z = -93,576\ 7 - 2,747\ 5 \cdot y$
Von $y = -39,048\ 6$	bis $y = -29,923\ 1$	: $z = +18,497\ 4 - (14^2 - (y + 25,892\ 9)^2)^{0,5}$
Von $y = -29,923\ 1$	bis $y = +5$	: $z = +119,895\ 8 - (120^2 - (y - 5)^2)^{0,5}$
Von $y = +5$	bis $y = +30$	: $z = -0,104\ 2 + 0 \times y$
Von $y = +30$	bis $y = +60$	: $z = +1,896\ 8 - 0,066\ 7 \times y$
Von $y = +60$	bis $y = +65$	: $z = +57,894\ 8 - 1 \times y$