Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 91 (1973)

Heft: 9

Artikel: Ein Verfahren zur Berechnung der Entgleisungssicherheit von Schienenfahrzeugen. 3. Teil: Fahrzeuge für Zahnradbahnen

Autor: Pribnow, Hans-Hermann

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-71820

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

die Vakuumkammer und die Verbindungsbügel zwischen unterem und oberem Pol bilden den sogenannten Polblock, eine für sich unabhängige Einheit.

Sektormagnete und Vakuumkammern. Bild 3 zeigt den Betonsockel im SIN-Laboratorium in Villigen während der Montage von zwei Sektormagneten. Neben der Lieferung der acht Sektormagnete und des zugehörigen Teils der Vakuumkammern erhielt BBC die Aufträge für die Umwandlung des Prototyp-Sektormagneten und der Prototyp-Vakuumkammer in die definitive Ausführung sowie für die Montage der Sektormagnete.

Quadrupolmagnete QS. Für den Strahltransport zwischen Injektor-Zyklotron und Ringbeschleuniger und von diesem zu den Experimentierplätzen werden zahlreiche Ablenk- und Fokussiermagnete (letztere auch Quadrupolmagnete genannt) benötigt. Zu liefern sind zwanzig Quadrupolmagnete Typ QSK und 22 Typ QSL. Diese Magnete haben einen Eisenkörper aus 1,5 mm starken, gestanzten und geschweissten Blechen und wassergekühlten Spulen, deren Isolation eine erhöhte Strahlenbeständigkeit aufweist. Deren Lieferung wird im ersten Drittel 1973 gestaffelt erfolgen.

Stromstabilisierte Speiseanlagen. Insgesamt sind 67 stromstabilisierte Speiseanlagen zur Speisung von Strahltransport-Quadrupolmagneten zu liefern. Die Anlagen Typ QSH liefern 160 V und 500 A, die Anlagen Typ QSN 85 V und 250 A. Für beide Typen beträgt die Kurzzeitstabilität $\pm 5.10^{-3}$, bezogen auf den Nennstrom, und die maximal zulässige Welligkeit 5 % des eingestellten Spannungswertes im unteren, 10 % im oberen Einstellbereich. Diese Lieferung wird in der zweiten Hälfte 1973 gestaffelt erfolgen.

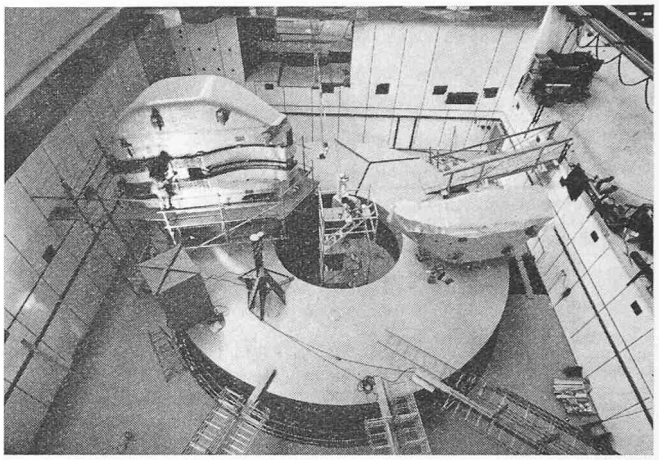

Bild 3. Montage von zwei der acht Sektormagneten zum 590-MeV-Isochron-Zyklotron des SIN auf dem Fundament im Laboratorium des Institutes in Villigen AG

Literaturverzeichnis

[1] *H. A. Willax* und *E. Huber:* Das 500-MeV-Isochron-Zyklotron für die Eidg. Technische Hochschule. «Bull. Oerlikon» 385/386, Januar 1969.

[2] *D. Kretz* Schweizerisches Institut für Nuklearforschung (SIN). «Bull. SEV» *61* (1970), H. 22.

[3] *A. Brunner:* Das Schweizer Institut für Nuklearforschung. «Naturwissenschaftliche Rundschau» *25* (1972), Heft 4.

[4] *H. A. Willax:* Die Beschleunigeranlage des SIN. «Schweiz. Bauzeitung» *90* (1972), H. 21, S. 471–483.

Adresse des Verfassers: Dr. *E. Violi,* Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie., Baden/Schweiz.

Ein Verfahren zur Berechnung der Entgleisungssicherheit von Schienenfahrzeugen

DK 625.2:625.33:625.032.84

Von **H.-H. Pribnow,** Pratteln

Fortsetzung von Heft 47 (1972) Seiten 1203–1220

3. Teil: Fahrzeuge für Zahnradbahnen

8. Allgemeines

Bei Zahnradbahnen werden im Unterschied zu den reinen Adhäsionsbahnen die Vortriebs- und Bremskräfte durch eine Zahnstange formschlüssig zwischen Fahrzeug und Gleis übertragen. Damit sind wesentlich grössere Vortriebs- und Bremskräfte übertragbar als bei Adhäsionsfahrzeugen.

Der 3. Teil behandelt die an einem angetriebenen oder gebremsten Zahnradbahn-Fahrzeug zusätzlich auftretenden Einflüsse. Das betrachtete Fahrzeug wird zunächst nach den Abschnitten 1 und 2 als Adhäsionsfahrzeug betrachtet, wobei auch die über die Zahnräder aufgebrachten Vortriebs- und Bremskräfte in die Berechnung eingesetzt werden. Den so gewonnenen Ergebnissen werden die Ergebnisse aus den folgenden Abschnitten des 3. Teils überlagert.

Die im 3. Teil verwendeten Bezeichnungen sind in den Teilen 1 und 2 definiert, berechnet und erläutert; entsprechende Hinweise im Text erleichtern das Auffinden. Die Ziffern in [...] beziehen sich auf das Literaturverzeichnis im 2. Teil, Abschnitt 7.

Zahnradbahn-Fahrzeuge, die selbst keine Vortriebs- oder Bremskräfte aufbringen, können als Adhäsionsfahrzeuge betrachtet werden.

8.1 Bemerkungen zur Berechnung

Besitzt ein Zahnradbahn-Triebfahrzeug getrennte, einzeln zu- und abschaltbare Antriebe für Adhäsionsräder und Triebzahnräder, oder besitzt es nur Triebzahnradantrieb, so werden die gesamten Vortriebskräfte durch die Triebzahnräder übertragen. Die Bremskräfte werden je nach Auslegung und Anordnung der Bremsen von den Trieb- bzw. Bremszahnrädern und gegebenenfalls den Adhäsionsrädern übertragen.

Im Falle von kombinierten Antrieben, bei denen Adhäsionsräder und Triebzahnräder gemeinsam angetrieben bzw. gebremst werden und in einem festen Drehzahlverhältnis miteinander laufen, kann die Aufteilung der Vortriebs- und Bremskräfte gemäss dem Schlupf erfolgen, der zwangsläufig zwischen Adhäsionsrädern und Schiene auftritt. Es erscheint jedoch ratsam, auch hier mit der Übertragung der gesamten Vortriebs- und Bremskräfte durch die Trieb- bzw. Bremszahnräder zu rechnen, da der schlupfbedingte Anteil der Adhäsionsräder in der Regel klein ist und bei ungünstigen Verhältnissen (z.B. nassen oder verölten Schienen) vernachlässigbar wird. Für genaue Berechnungen, besonders bei grossem Schlupf, wird auf [8] und [9] verwiesen, wo die Beziehungen zwischen Schlupf und wirksamen Reibungskoeffizienten behandelt sind. Sind an Fahrzeugen mit kombiniertem Antrieb weitere Bremsen vorhanden, die auf die Adhäsionsräder wirken, so ist deren Einfluss unter 2.3 und 2.4 zu berücksichtigen.

Beiwagen von Zahnradbahnen besitzen in der Regel getrennte Bremsen für Adhäsionsräder und Bremszahnräder, deren Anteile an der gesamten Bremskraft leicht zu ermitteln sind.

Es ist zu beachten, dass unter 2.3 und 2.4 für die gesamten Bremskräfte die Anteile von Bremszahnrädern und Adhäsionsrädern einzusetzen sind.

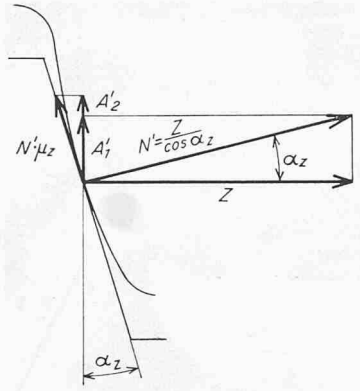

Bild 7. Kräfte an der Zahnflanke

Im folgenden wird unter Z jeweils nur der von den Zahnrädern übertragene Anteil der Vortriebs- und Bremskräfte verstanden.

Es ist für das angetriebene Fahrzeug:

(131a) $Z = V_F - V_a$

für das gebremste Fahrzeug:

(131b) $Z = B_F - B_a$

Die Berechnung erfolgt nach Teile 1 und 2, Abschnitte 1. bis 5.; in den folgenden Berechnungen werden die Einflüsse aus den Zahnrädern mit den in den Abschnitten 5.3 und 5.4 ermittelten Werten kombiniert.

8.2 Vorgänge und Kräfte an den eingreifenden Zahnrädern (s. auch Bild 7)

8.2.1 Auftrieb durch die geometrische Form

Durch die geometrische Form der Zähne von Zahnrad und Zahnstange ergibt sich unter Einwirkung der Zahnkraft Z (Umfangskraft) am Zahnrad ein Zahnauftrieb von

(132) $A'_1 = Z \operatorname{tg} \alpha_z$

8.2.2 Auftrieb durch Reibungseinflüsse

Beim Einlauf eines Zahnes in die Zahnlücke der Zahnstange ergibt sich ein Auftrieb von

(133) $$A'_2 = \frac{Z}{\cos \alpha_z} \mu_z \cos \alpha_z = Z \mu_z$$

Diese Formel gilt für die Fahrt im geraden Gleis und berücksichtigt die auftretenden Einflüsse nur vereinfacht. Für genauere Berechnungen, besonders für mehrlamellige Zahnstangen, wird auf [1] verwiesen.

8.2.3 Horizontal, quer zur Fahrzeugachse wirkende Reibungskräfte an den Zahnrädern

Beim Lauf eines Zahnradbahnfahrzeuges durch einen Gleisbogen ergeben sich horizontale Kräfte H_z zwischen Zahnrädern und Zahnstange, die dadurch entstehen, dass die Zahnräder in der Zahnstange seitlich verschoben werden müssen und die Reibung dem entgegenwirkt.

8.2.4 Aufteilung der Reibungskräfte

Ist die Zahnkraft Z am Zahneingriff wirksam, so ist die gesamte zur Verfügung stehende Reibungskraft

(134) $R_z = Z \mu_z$

Diese teilt sich auf in den Auftrieb A'_2 und die horizontale Kraft H_z entsprechend der Beziehung

(135) $A'^2_2 + H_z^2 = R_z^2$

Für die weitere Berechnung werden die scheinbaren Reibungskoeffizienten μ_1 für den Auftrieb und μ_2 für die Horizontalkräfte eingeführt. Damit wird

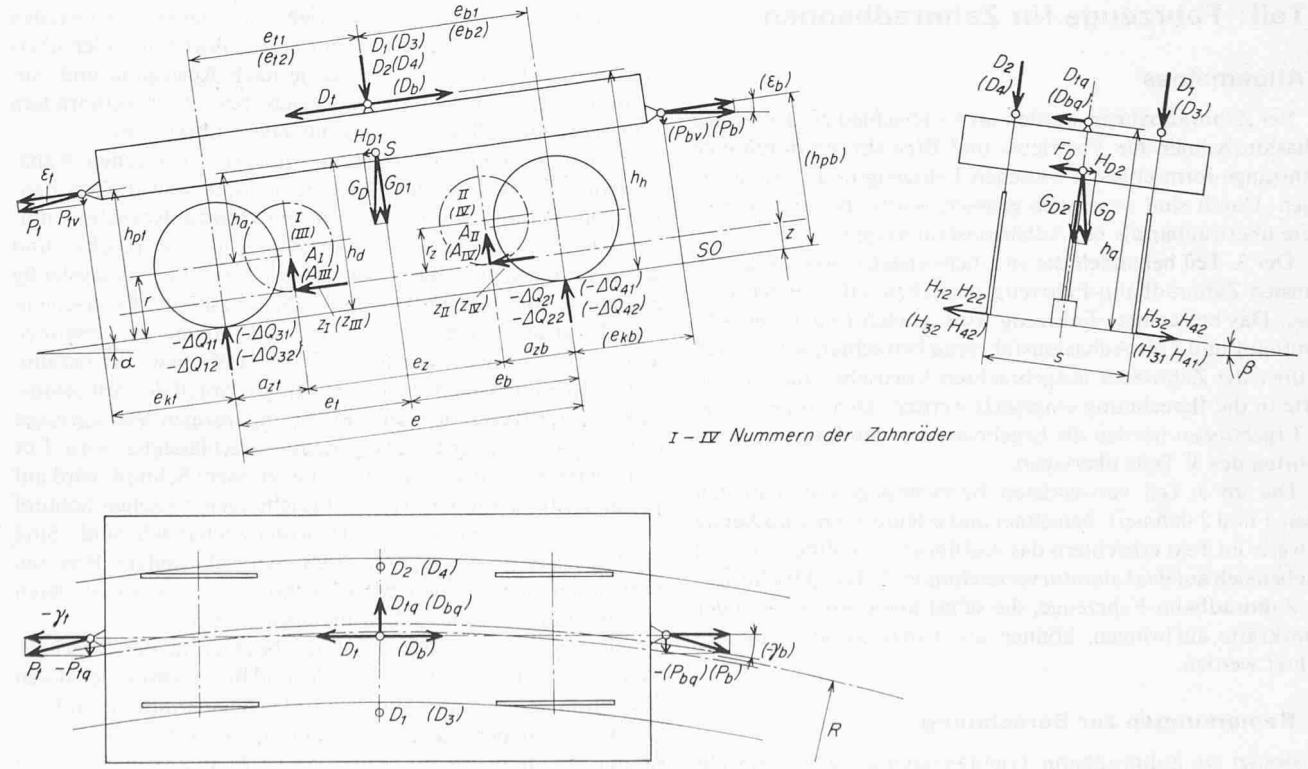

Bild 4. Abmessungen und Kräfte am Drehgestell für Zahnradbahnfahrzeuge (Werte in Klammern gelten für bergseitiges Drehgestell)

(136.1) $A'_2 = Z\,\mu_1$ (136.2) $H_z = Z\,\mu_2$

damit

(136.3) $(Z \cdot \mu_1)^2 + (Z \cdot \mu_2)^2 = (Z \cdot \mu_z)^2$

oder

(136.4) $\mu_1^2 + \mu_2^2 = \mu_z^2$

Da die Kräfte A'_2 und H_z einen schwer überschaubaren Einfluss auf die Entgleisungssicherheit haben und ihre Beziehung untereinander nur mit grossem Aufwand zu bestimmen ist (s. auch [1]), ist zu empfehlen, die nachfolgenden Berechnungen mit mehreren Kombinationen von A'_2 und H_z nach Gleichung (136.4) durchzuführen. Extremwerte sind $\mu_1 = 0$ bzw. $\mu_2 = 0$.

9. Entgleisungssicherheit für Zahnradbahn-Fahrzeuge in Drehgestellbauart

9.1 Zahnkräfte

Die Berechnung erfolgt unter der Annahme, dass bei n am Fahrzeug vorhandenen Zahnrädern alle gleichmässig an der Kraftübertragung beteiligt sind (s. auch Bild 4, vgl. auch 2.6.2). Damit ist bei angetriebenem Fahrzeug

(137a) $$Z_{\mathrm{I}} = Z_{\mathrm{II}} = Z_{\mathrm{III}} = Z_{\mathrm{IV}} = \frac{V_F - V_a}{n}$$

bei gebremstem Fahrzeug

(137b) $$Z_{\mathrm{I}} = Z_{\mathrm{II}} = Z_{\mathrm{III}} = Z_{\mathrm{IV}} = \frac{B_F - B_a}{n}$$

Werden die Vortriebs- und Bremskräfte nicht gleichmässig von allen Zahnrädern übertragen, so sind die Werte von Z_{I} bis Z_{IV} gesondert zu berechnen. Es ist zu beachten, dass gegebenenfalls den Werten für die Zahnkräfte die zur Beschleunigung oder Verzögerung rotierender Massen notwendige Vortriebs- und Bremskraft zu überlagern ist. Dies ist z.B. der Fall, wenn Bremskräfte vom Fahrmotor aufgebracht werden.

Es wird angenommen, dass die Zahnräder immer an der bergseitigen Flanke der Zahnstangenzähne anliegen. Die Zahnkräfte werden als positiv definiert.

9.2 Zusätzliche Horizontalbelastung der Adhäsionsräder durch die Zahnräder (quer zur Fahrzeugachse)

9.2.1 Talseitige Zahnräder

(138.1) $$H_{11.21} = H_{12.21} = Z_{\mathrm{I}}\,\mu_2\,\frac{e_z + a_{zb}}{e}$$

(138.2) $$H_{21.21} = H_{22.21} = Z_{\mathrm{I}}\,\mu_2\,\frac{a_{zt}}{e}$$

(138.3) $$H_{31.21} = H_{32.21} = Z_{\mathrm{III}}\,\mu_2\,\frac{e_z + a_{zb}}{e}$$

(138.4) $$H_{41.21} = H_{42.21} = Z_{\mathrm{III}}\,\mu_2\,\frac{a_{zt}}{e}$$

Vorzeichen:

Fahrt	$H_{11.21}$	$H_{12.21}$	$H_{21.21}$	$H_{22.21}$	$H_{31.21}$	$H_{32.21}$	$H_{41.21}$	$H_{42.21}$
bergwärts	+	—	—	+	+	—	—	+
talwärts	—	+	+	—	—	+	+	—

9.2.2 Bergseitige Zahnräder

(139.1) $$H_{11.22} = H_{12.22} = Z_{\mathrm{II}}\,\mu_2\,\frac{a_{zb}}{e}$$

(139.2) $$H_{21.22} = H_{22.22} = Z_{\mathrm{II}}\,\mu_2\,\frac{e_z + a_{zt}}{e}$$

(139.3) $$H_{31.22} = H_{32.22} = Z_{\mathrm{IV}}\,\mu_2\,\frac{a_{zb}}{e}$$

(139.4) $$H_{41.22} = H_{42.22} = Z_{\mathrm{IV}}\,\mu_2\,\frac{e_z + a_{zt}}{e}$$

Vorzeichen:

Fahrt	$H_{11.22}$	$H_{12.22}$	$H_{21.22}$	$H_{22.22}$	$H_{31.22}$	$H_{32.22}$	$H_{41.22}$	$H_{42.22}$
bergwärts	+	—	—	+	+	—	—	+
talwärts	—	+	+	—	—	+	+	—

Negative Werte aus den Formeln (138.1) bis (139.4) sind Null zu setzen; in den weiteren Berechnungen sind nur die positiven Werte zu berücksichtigen (s. auch Abschnitt 5.3.8).

9.2.3 Gesamte horizontale Belastung an den Radaufstandspunkten

(140.1) $H_{11.0} = H_{11} + H_{11.21} + H_{11.22}$

(140.2) $H_{12.0} = H_{12} + H_{12.21} + H_{12.22}$

(140.3) $H_{21.0} = H_{21} + H_{21.21} + H_{21.22}$

(140.4) $H_{22.0} = H_{22} + H_{22.21} + H_{22.22}$

(140.5) $H_{31.0} = H_{31} + H_{31.21} + H_{31.22}$

(140.6) $H_{32.0} = H_{32} + H_{32.21} + H_{32.22}$

(140.7) $H_{41.0} = H_{41} + H_{41.21} + H_{41.22}$

(140.8) $H_{42.0} = H_{42} + H_{42.21} + H_{42.22}$

Die Werte für H_{11} bis H_{42} sind in Abschnitt 5.1.7 berechnet.

9.3 Änderung der vertikalen Radlasten

9.3.1 Aus vorhergehender Rechnung

$\Delta Q_{11.1} \ldots \Delta Q_{42.1}$ n. Abschn. 5.3.1

$\Delta Q_{11.2} \ldots \Delta Q_{42.2}$ n. Abschn. 5.3.2

$\Delta Q_{11.3} \ldots \Delta Q_{42.3}$ n. Abschn. 5.3.3

$\Delta Q_{11.5} \ldots \Delta Q_{42.5}$ n. Abschn. 5.3.5

$\Delta Q_{11.6} \ldots \Delta Q_{42.6}$ n. Abschn. 5.3.6

$\Delta Q_{11.7} \ldots \Delta Q_{42.7}$ n. Abschn. 5.3.7

$\Delta Q_{11.9} \ldots \Delta Q_{42.9}$ n. Abschn. 5.3.9

$\Delta Q_{11.10} \ldots \Delta Q_{42.10}$ n. Abschn. 5.3.10

$\Delta Q_{11.11} \ldots \Delta Q_{42.11}$ n. Abschn. 5.3.11

Die Werte $\Delta Q_{11.4} \ldots \Delta Q_{42.4}$ und $\Delta Q_{11.8} \ldots \Delta Q_{42.8}$ werden nicht aus Abschnitt 5.3 übernommen.

9.3.2 Radlaständerung durch die horizontalen Kräfte an der Drehgestellauflage in Fahrzeuglängsrichtung (vgl. 5.3.4)

(141.1) $$\Delta Q_{11.31} = \Delta Q_{12.31} = -D_t\,\frac{h_h - z}{2\,e}$$

(141.2) $$\Delta Q_{21.31} = \Delta Q_{22.31} = +D_t\,\frac{h_h - z}{2\,e}$$

(141.3) $$\Delta Q_{31.31} = \Delta Q_{32.31} = +D_b\,\frac{h_h - z}{2\,e}$$

(141.4) $$\Delta Q_{41.31} = \Delta Q_{42.31} = -D_b\,\frac{h_h - z}{2\,e}$$

Werte für D_b und D_t aus (54.1) und (54.2).

Die Reaktion der horizontalen Kräfte an der Drehgestellauflage wird auf die Eingriffslinie der Zahnstange bezogen, da die Vortriebs- und Bremskräfte an diesen Kräften den weitaus grössten Anteil haben und ihre Reaktion, vereinfacht betrachtet, tatsächlich an der Eingriffslinie finden. Die Übertragung auf das Drehgestell erfolgt über die Drehmomentstützen der Getriebe oder die Bremsaufhängungen. Ist eine genauere Untersuchung notwendig, so muss in den Formeln (141.1) bis (141.4) anstelle von $(h_h - z)$ der Ausdruck $(h_h - z - r_z)$ gesetzt werden. Damit wird die Reaktion auf die Radmitten bezogen. Zusätzlich muss dann der Einfluss der Drehmomentstützen und Bremsaufhängungen auf die Radlaständerungen untersucht werden.

Treten am betrachteten Fahrzeug keine Vortriebs- oder Bremskräfte auf, so ist in den Formeln (141.1) bis (141.4) anstelle von $(h_h - z)$ der Ausdruck $(h_h - r)$ einzusetzen (vgl. 5.3.4).

9.3.3 Radlaständerung durch Auftrieb am Spurkranz (vgl. 5.3.8)

Horizontalkräfte:

(142.1a) $H'_{11.0} = H_{11.0} - H_{12.0}$ wenn $H_{11.0} > H_{12.0}$

(142.1b) $H'_{12.0} = H_{12.0} - H_{11.0}$ wenn $H_{12.0} > H_{11.0}$

(142.2a) $H'_{21.0} = H_{21.0} - H_{22.0}$ wenn $H_{21.0} > H_{22.0}$

(142.2b) $H'_{22.0} = H_{22.0} - H_{21.0}$ wenn $H_{22.0} > H_{21.0}$

(142.3a) $H'_{31.0} = H_{31.0} - H_{32.0}$ wenn $H_{31.0} > H_{32.0}$

(142.3b) $H'_{32.0} = H_{32.0} - H_{31.0}$ wenn $H_{32.0} > H_{31.0}$

(142.4a) $H'_{41.0} = H_{41.0} - H_{42.0}$ wenn $H_{41.0} > H_{42.0}$

(142.4b) $H'_{42.0} = H_{42.0} - H_{41.0}$ wenn $H_{42.0} > H_{41.0}$

Werte für $H_{11.0}$ bis $H_{42.0}$ aus (140.1.) bis (140.8.).

Damit ist die Radlaständerung durch Auftrieb:

(143.1a) $\Delta Q_{11.32} = -H'_{11.0}(\mathrm{tg}\delta + \mu_s)$

(143.1b) $\Delta Q_{12.32} = -H'_{12.0}(\mathrm{tg}\delta + \mu_s)$

(143.2a) $\Delta Q_{21.32} = -H'_{21.0}(\mathrm{tg}\delta + \mu_s)$

(143.2b) $\Delta Q_{22.32} = -H'_{22.0}(\mathrm{tg}\delta + \mu_s)$

(143.3a) $\Delta Q_{31.32} = -H'_{31.0}(\mathrm{tg}\delta + \mu_s)$

(143.3b) $\Delta Q_{32.32} = -H'_{32.0}(\mathrm{tg}\delta + \mu_s)$

(143.4a) $\Delta Q_{41.32} = -H'_{41.0}(\mathrm{tg}\delta + \mu_s)$

(143.4b) $\Delta Q_{42.32} = -H'_{42.0}(\mathrm{tg}\delta + \mu_s)$

9.3.4 Radlaständerung aus dem Zahnauftrieb

9.3.4.1 Zahnauftrieb für die einzelnen Zahnräder (vgl. 8.2)

(144.1) $A_{\mathrm{I}} = Z_{\mathrm{I}}\,(\mathrm{tg}\alpha_z + \mu_1)$

(144.2) $A_{\mathrm{II}} = Z_{\mathrm{II}}\,(\mathrm{tg}\alpha_z + \mu_1)$

(144.3) $A_{\mathrm{III}} = Z_{\mathrm{III}}\,(\mathrm{tg}\alpha_z + \mu_1)$

(144.4) $A_{\mathrm{IV}} = Z_{\mathrm{IV}}\,(\mathrm{tg}\alpha_z + \mu_1)$

Werte für Z_{I} bis Z_{IV} aus (137a) bzw. (137b).

9.3.4.2 Radlaständerung durch Auftrieb an den talseitigen Zahnrädern

(145.1) $\Delta Q_{11.33} = \Delta Q_{12.33} = -A_{\mathrm{I}}\,\dfrac{e_z + a_{zb}}{2\,e}$

(145.2) $\Delta Q_{21.33} = \Delta Q_{22.33} = -A_{\mathrm{I}}\,\dfrac{a_{zt}}{2\,e}$

(145.3) $\Delta Q_{31.33} = \Delta Q_{32.33} = -A_{\mathrm{III}}\,\dfrac{e_z + a_{zb}}{2\,e}$

(145.4) $\Delta Q_{41.33} = \Delta Q_{42.33} = -A_{\mathrm{III}}\,\dfrac{a_{zt}}{2\,e}$

9.3.4.3 Radlaständerung durch Auftrieb an den bergseitigen Zahnrädern

(146.1) $\Delta Q_{11.34} = \Delta Q_{12.34} = -A_{\mathrm{II}}\,\dfrac{a_{zb}}{2\,e}$

(146.2) $\Delta Q_{21.34} = \Delta Q_{22.34} = -A_{\mathrm{II}}\,\dfrac{e_z + a_{zt}}{2\,e}$

(146.3) $\Delta Q_{31.34} = \Delta Q_{32.34} = -A_{\mathrm{IV}}\,\dfrac{a_{zt}}{2\,e}$

(146.4) $\Delta Q_{41.34} = \Delta Q_{42.34} = -A_{\mathrm{IV}}\,\dfrac{e_z + a_{zt}}{2\,e}$

9.3.5 Gesamte vertikale Radlaständerungen

(147.1) $\Delta Q_{11.0} = \Delta Q_{11.1} + \ldots + \Delta Q_{11.11} + \Delta Q_{11.31} + \ldots + \Delta Q_{11.34}$

(147.2) $\Delta Q_{12.0} = \Delta Q_{12.1} + \ldots + \Delta Q_{12.11} + \Delta Q_{12.31} + \ldots + \Delta Q_{12.34}$

(147.3) $\Delta Q_{21.0} = \Delta Q_{21.1} + \ldots + \Delta Q_{21.11} + \Delta Q_{21.31} + \ldots + \Delta Q_{21.34}$

(147.4) $\Delta Q_{22.0} = \Delta Q_{22.1} + \ldots + \Delta Q_{22.11} + \Delta Q_{22.31} + \ldots + \Delta Q_{22.34}$

(147.5) $\Delta Q_{31.0} = \Delta Q_{31.1} + \ldots + \Delta Q_{31.11} + \Delta Q_{31.31} + \ldots + \Delta Q_{31.34}$

(147.6) $\Delta Q_{32.0} = \Delta Q_{32.1} + \ldots + \Delta Q_{32.11} + \Delta Q_{32.31} + \ldots + \Delta Q_{32.34}$

(147.7) $\Delta Q_{41.0} = \Delta Q_{41.1} + \ldots + \Delta Q_{41.11} + \Delta Q_{41.31} + \ldots + \Delta Q_{41.34}$

(147.8) $\Delta Q_{42.0} = \Delta Q_{42.1} + \ldots + \Delta Q_{42.11} + \Delta Q_{42.31} + \ldots + \Delta Q_{42.34}$

Unter $\Delta Q_{11.1} + \ldots + \Delta Q_{11.11}$ bis $\Delta Q_{42.1} + \ldots + \Delta Q_{42.11}$ sind die in Abschnitt 9.3.1 übernommenen Werte einzusetzen; die Werte für $\Delta Q_{11.4} \ldots \Delta Q_{42.4}$ und $\Delta Q_{11.8} \ldots \Delta Q_{42.8}$ werden nicht übernommen und in den Formeln (147.1) bis (147.8) durch die Werte $\Delta Q_{11.31} \ldots \Delta Q_{42.31}$ und $\Delta Q_{11.32} \ldots \Delta Q_{42.32}$ ersetzt.

9.4 Effektive Radlasten

(148.1) $R_{e11.0} = Q_{11} + \Delta Q_{11.0}$

(148.2) $R_{e12.0} = Q_{12} + \Delta Q_{12.0}$

(148.3) $R_{e21.0} = Q_{21} + \Delta Q_{21.0}$

(148.4) $R_{e22.0} = Q_{22} + \Delta Q_{22.0}$

(148.5) $R_{e31.0} = Q_{31} + \Delta Q_{31.0}$

(148.6) $R_{e32.0} = Q_{32} + \Delta Q_{32.0}$

(148.7) $R_{e41.0} = Q_{41} + \Delta Q_{41.0}$

(148.8) $R_{e42.0} = Q_{42} + \Delta Q_{42.0}$

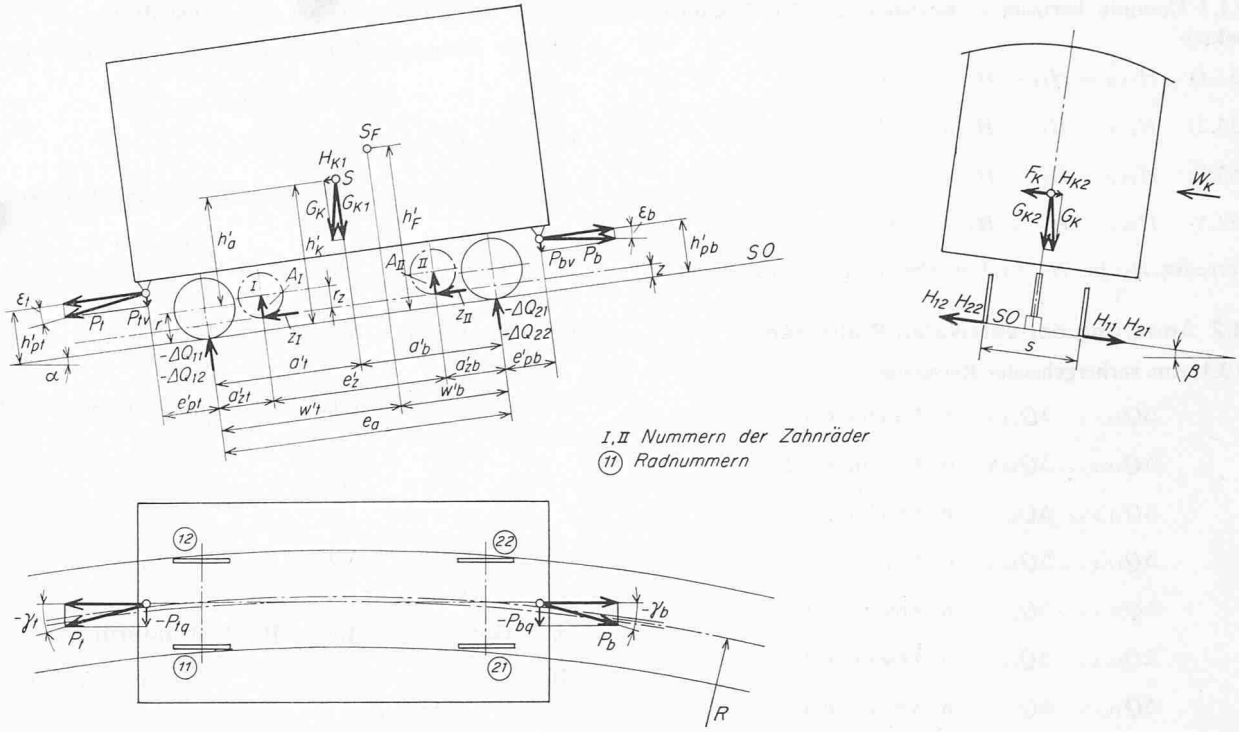

Bild 5. Abmessungen und Kräfte am zweiachsigen Zahnradbahnfahrzeug

9.5 Statische Radlasten in der Horizontalen

Die statischen Radlasten R_{e11} bis R_{e42} sind in Abschnitt 5.5 berechnet.

9.6 Sicherheitskoeffizient (vgl. 5.6)

(149.1) $$S_{11.0} = \frac{R_0}{R_0 - R_{e11.0}}$$ (149.5) $$S_{31.0} = \frac{R_0}{R_0 - R_{e31.0}}$$

(149.2) $$S_{12.0} = \frac{R_0}{R_0 - R_{e12.0}}$$ (149.6) $$S_{32.0} = \frac{R_0}{R_0 - R_{e32.0}}$$

(149.3) $$S_{21.0} = \frac{R_0}{R_0 - R_{e21.0}}$$ (149.7) $$S_{41.0} = \frac{R_0}{R_0 - R_{e41.0}}$$

(149.4) $$S_{22.0} = \frac{R_0}{R_0 - R_{e22.0}}$$ (149.8) $$S_{42.0} = \frac{R_0}{R_0 - R_{e42.0}}$$

9.7 Allgemeine Bemerkungen zur Entgleisungssicherheit

Hier gelten sinngemäss die in Abschnitt 5.7 angegebenen Hinweise. Für die genauere Bestimmung der Richtkräfte unter der Einwirkung von Zahnkräften ist in [1] ein Verfahren angegeben. Werden die Richtkräfte genauer bestimmt, so sind die Werte für die Adhäsionsräder im 2. Teil, Abschnitt 5.1.7, Gleichungen (74.1) bis (74.8) zu berücksichtigen.

Anstelle der in Abschnitt 5.7 genannten Grössen $S_{11} \ldots S_{42}$ sind dabei $S_{11.0} \ldots S_{42.0}$ zu betrachten.

10. Entgleisungssicherheit für zweiachsige Zahnradbahn-Fahrzeuge

Der Berechnungsgang für zweiachsige Fahrzeuge ist prinzipiell gleich wie für vierachsige. Die Berechnung erfolgt nach den in den Abschnitten 6. und 7. einleitend gegebenen Hinweisen und Überlegungen. Die Berechnung erfolgt nach Abschnitt 6.; in den folgenden Berechnungen werden die Einflüsse aus den Zahnrädern mit den in den Abschnitten 6.3 und 6.4 ermittelten Werten kombiniert (siehe Bild 5).

Für die Betrachtung der an den Zahnrädern auftretenden Kräfte gelten die Abschnitte 7.2 und 7.3.

10.1 Zusätzliche Horizontalbelastung der Adhäsionsräder durch die Zahnräder

10.1.1 Talseitiges Zahnrad

(151.1) $$H_{11.31} = H_{12.31} = Z_{\mathrm{I}}\,\mu_2\,\frac{e'_z + a'_{zb}}{e_a}$$

(151.2) $$H_{21.31} = H_{22.31} = Z_{\mathrm{I}}\,\mu_2\,\frac{a'_{zt}}{e_a}$$

Vorzeichen:

Fahrt	$H_{11.31}$	$H_{12.31}$	$H_{21.31}$	$H_{22.31}$
bergwärts	+	—	—	+
talwärts	—	+	+	—

Werte für μ_2 und Z_{I} aus (136.2) bis (137b).

10.1.2 Bergseitiges Zahnrad

(152.1) $$H_{11.32} = H_{12.32} = Z_{\mathrm{II}}\,\mu_2\,\frac{a'_{zb}}{e}$$

(152.2) $$H_{21.32} = H_{22.32} = Z_{\mathrm{II}}\,\mu_2\,\frac{e'_z + a'_{zt}}{e}$$

Vorzeichen:

Fahrt	$H_{11.32}$	$H_{12.32}$	$H_{21.32}$	$H_{22.32}$
bergwärts	+	—	—	+
talwärts	—	+	+	—

Werte für μ_2 und Z_{II} aus (136.2) bis (137b). Negative Werte aus den Formeln (151.1) bis (152.2) sind null zu setzen; in den weiteren Berechnungen sind nur die positiven Werte zu berücksichtigen.

10.1.3 Gesamte horizontale Belastung an den Radaufstandspunkten

(153.1) $H_{11.0} = H_{11} + H_{11.31} + H_{11.32}$

(153.2) $H_{12.0} = H_{12} + H_{12.31} + H_{12.32}$

(153.3) $H_{21.0} = H_{21} + H_{21.31} + H_{21.32}$

(153.4) $H_{22.0} = H_{22} + H_{22.31} + H_{22.32}$

Werte für H_{11} bis H_{22} sind in Abschnitt 6.1.6 berechnet.

10.2 Änderung der vertikalen Radlasten

10.2.1 Aus vorhergehender Rechnung:

$\Delta Q_{11.1} \ldots \Delta Q_{22.1}$ n. Abschn. 6.3.1

$\Delta Q_{11.2} \ldots \Delta Q_{22.2}$ n. Abschn. 6.3.2

$\Delta Q_{11.3} \ldots \Delta Q_{22.3}$ n. Abschn. 6.3.3

$\Delta Q_{11.4} \ldots \Delta Q_{22.4}$ n. Abschn. 6.3.4

$\Delta Q_{11.5} \ldots \Delta Q_{22.5}$ n. Abschn. 6.3.5

$\Delta Q_{11.6} \ldots \Delta Q_{22.6}$ n. Abschn. 6.3.6

$\Delta Q_{11.7} \ldots \Delta Q_{22.7}$ n. Abschn. 6.3.7

$\Delta Q_{11.9} \ldots \Delta Q_{22.9}$ n. Abschn. 6.3.9

$\Delta Q_{11.10} \ldots \Delta Q_{22.10}$ n. Abschn. 6.3.10

$\Delta Q_{11.12} \ldots \Delta Q_{22.12}$ n. Abschn. 6.3.12

Die Werte für $\Delta Q_{11.8} \ldots \Delta Q_{22.8}$ und $\Delta Q_{11.11} \ldots \Delta Q_{22.11}$ werden nicht aus Abschnitt 6.3 übernommen.

10.2.2 Radlaständerung durch die horizontalen Komponenten der Kupplungskräfte in Fahrzeuglängsachse (vgl. 4.1.7.3)

(154.1) $$\Delta Q_{11.41} = \Delta Q_{12.41} = -(P_b - P_t)\frac{h'_{pt} - z}{2\,e_a}$$

(154.2) $$\Delta Q_{21.41} = \Delta Q_{22.41} = +(P_b - P_t)\frac{h'_{pt} - z}{2\,e_a}$$

Werte für P_b und P_t aus (16a) bis (17f).

Hierzu ist die Bemerkung in Abschnitt 9.3.2 sinngemäss zu beachten. Anstelle von $(h'_{pt} - z)$ muss dann der Ausdruck $(h'_{pt} - z - r_z)$ gesetzt werden. In diesen Formeln ist $h'_{pt} = h'_{pb}$ vorausgesetzt. Ist dies nicht der Fall, so ist anstelle von h'_{pt} der Mittelwert aus h'_{pt} und h'_{pb} einzusetzen.

10.2.3 Radlaständerung durch Auftrieb am Spurkranz (vgl. 5.3.8)

Horizontalkräfte:

(155.1a) $H'_{11.0} = H_{11.0} - H_{12.0}$ wenn $H_{11.0} > H_{12.0}$

(155.1b) $H'_{12.0} = H_{12.0} - H_{11.0}$ wenn $H_{12.0} > H_{11.0}$

(155.2a) $H'_{21.0} = H_{21.0} - H_{22.0}$ wenn $H_{21.0} > H_{22.0}$

(155.2b) $H'_{22.0} = H_{22.0} - H_{21.0}$ wenn $H_{22.0} > H_{21.0}$

Damit ist die Radlaständerung durch Auftrieb:

(156.1a) $\Delta Q_{11.42} = -H'_{11.0}(\mathrm{tg}\,\delta + \mu_s)$

(156.1b) $\Delta Q_{12.42} = -H'_{12.0}(\mathrm{tg}\,\delta + \mu_s)$

(156.2a) $\Delta Q_{21.42} = -H'_{21.0}(\mathrm{tg}\,\delta + \mu_s)$

(156.2b) $\Delta Q_{22.42} = -H'_{22.0}(\mathrm{tg}\,\delta + \mu_s)$

10.2.4 Radlaständerung aus dem Zahnauftrieb (vgl. 9.3.4)

10.2.4.1 Zahnauftrieb für die einzelnen Zahnräder (vgl. 8.2)

(157.1) $A_{\mathrm{I}} = Z_{\mathrm{I}}\,(\mathrm{tg}\,\alpha_z + \mu_1)$

(157.2) $A_{\mathrm{II}} = Z_{\mathrm{II}}\,(\mathrm{tg}\,\alpha_z + \mu_1)$

10.2.4.2 Radlaständerung durch Auftrieb am talseitigen Zahnrad

(158.1) $$\Delta Q_{11.43} = \Delta Q_{12.43} = -A_{\mathrm{I}}\frac{e'_z + a'_{zb}}{2\,e_a}$$

(158.2) $$\Delta Q_{21.43} = \Delta Q_{22.43} = -A_{\mathrm{I}}\frac{a'_{zt}}{2\,e_a}$$

10.2.4.3 Radlaständerung durch Auftrieb am bergseitigen Zahnrad

(159.1) $$\Delta Q_{11.44} = \Delta Q_{12.44} = -A_{\mathrm{II}}\frac{a'_{zb}}{2\,e_a}$$

(159.2) $$\Delta Q_{21.44} = \Delta Q_{22.44} = -A_{\mathrm{II}}\frac{e'_z + a'_{zt}}{2\,e_a}$$

10.3 Gesamte vertikale Radlaständerungen

(160.1) $\Delta Q_{11.0} = \Delta Q_{11.1} + \ldots + \Delta Q_{11.12} + \Delta Q_{11.41} + \ldots + \Delta Q_{11.44}$

(160.2) $\Delta Q_{12.0} = \Delta Q_{12.1} + \ldots + \Delta Q_{12.12} + \Delta Q_{12.41} + \ldots + \Delta Q_{12.44}$

(160.3) $\Delta Q_{21.0} = \Delta Q_{21.1} + \ldots + \Delta Q_{21.12} + \Delta Q_{21.41} + \ldots + \Delta Q_{21.44}$

(160.4) $\Delta Q_{22.0} = \Delta Q_{22.1} + \ldots + \Delta Q_{22.12} + \Delta Q_{22.41} + \ldots + \Delta Q_{22.44}$

Unter $\Delta Q_{11.1} + \ldots + \Delta Q_{11.12}$ bis $\Delta Q_{22.1} + \ldots + \Delta Q_{22.12}$ sind die in Abschnitt 10.2.1 übernommenen Werte einzusetzen. Die Werte $\Delta Q_{11.8} \ldots \Delta Q_{22.8}$ werden nicht übernommen, sondern durch die Werte $\Delta Q_{11.41} \ldots \Delta Q_{22.41}$ ersetzt.

10.4 Effektive Radlasten

(161.1) $R_{e11.0} = Q_{11} + \Delta Q_{11.0}$

(161.2) $R_{e12.0} = Q_{12} + \Delta Q_{12.0}$

(161.3) $R_{e21.0} = Q_{21} + \Delta Q_{21.0}$

(161.4) $R_{e22.0} = Q_{22} + \Delta Q_{22.0}$

10.5 Statische Radlasten in der Horizontalen:

Die statischen Radlasten sind in Abschnitt 6.5 berechnet.

10.6 Sicherheitskoeffizient (vgl. 5.6)

(162.1) $$S_{11.0} = \frac{R_0}{R_0 - R_{e11.0}}$$ (162.3) $$S_{21.0} = \frac{R_0}{R_0 - R_{e21.0}}$$

(162.2) $$S_{12.0} = \frac{R_0}{R_0 - R_{e12.0}}$$ (162.4) $$S_{22.0} = \frac{R_0}{R_0 - R_{e22.0}}$$

10.7 Allgemeine Bemerkungen zur Entgleisungssicherheit

Hier gelten sinngemäss die in Abschnitt 5.7 angegebenen Hinweise. Für die genaue Bestimmung der Richtkräfte unter der Einwirkung von Zahnkräften ist in [1] ein Verfahren angegeben. Werden die Richtkräfte genauer bestimmt, so sind die Werte bezüglich der Adhäsionsräder in Abschnitt 6.1.6, Gleichungen (106.1) bis (106.4), zu berücksichtigen.

Anstelle der in Abschnitt 5.7 genannten Grössen $S_{11} \ldots S_{42}$ sind dabei $S_{11.0} \ldots S_{22.0}$ zu betrachten.

Schluss folgt