

Zeitschrift:	Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber:	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band:	89 (1971)
Heft:	7
Artikel:	Stand- und Entgleisungssicherheit bei Zahnradbahnen: Ergänzungen und Korrekturen
Autor:	Borgeaud, G.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-84769

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: 13.01.2026

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

Stand- und Entgleisungssicherheit bei Zahnradbahnen

Ergänzungen und Korrekturen

Von G. Borgeaud, dipl. Ing., Winterthur

DK 625.33:625.032.84

In einer früheren Arbeit (SBZ 87 [1969], H. 4 u. 5, S. 51 u. 71) wurde unter dem Titel «Zusammenfassung» bereits darauf hingewiesen, dass sich die vor allem durch eine Erhöhung der Zugslasten und das Bedürfnis nach Mehrfachtraktion gekennzeichnete Modernisierung der Bergbahnen stark auf die Entgleisungssicherheit auswirkt. Bei der Ausarbeitung der neuen Nebenbahn-Verordnung muss die damit beauftragte Kommission u.a. den einzuhaltenden Stabilitätsfaktor Σ festlegen. Durchgeführte Bremsversuche und entsprechende Berechnungen zeigen, dass der bisher für diesen Faktor vorgesehene Wert oft ohne Entgleisung unterschritten wird. Es ist daher notwendig, ihn kleiner zu wählen und gegebenenfalls den Betriebsverhältnissen, bzw. der Art des Fahrzeugs (ob Triebfahrzeug oder Vorstellwagen) anzupassen. Eine Verkleinerung der Sicherheitsmarge kann aber nur bei viel genauerer Erfassung der Vorgänge verantwortet werden. Die frühere Untersuchung und die vorliegende Ergänzung zeigen, wie die diesbezüglichen Berechnungen durchzuführen sind.

In der früheren Arbeit wurde vorausgesetzt, dass die notwendigen Zug- oder Bremskräfte – ausgenommen die Bremskräfte X_A – allein durch den Zahnradantrieb entwickelt werden. Ferner wurde im Falle der Zahnradlagerung auf einer Radsatzachse nur die normale Triebwerkanordnung in Betracht gezogen, bei welcher das Zahnrad durch einen Achsantrieb angetrieben wird, der durch eine vertikale oder horizontale Drehmomentstütze mit dem Gestellrahmen verbunden ist.

Nachträglich zeigte die Behandlung verschiedener konkreter Fälle, dass diese Voraussetzungen – im Hinblick auf die Erstellung eines möglichst allgemein gültigen Computerprogrammes – zu starke Einschränkungen mit sich bringen. So können zum Beispiel Anordnungen vorkommen, bei welchen die Zug- oder Bremskräfte sowohl durch den Zahnrad- als auch durch einen Adhäsionsantrieb ohne Verkopplung derselben erzeugt werden. Ferner können bei Drehgestellfahrzeugen auch Achsantriebe vorkommen, bei welchen die horizontale Drehmomentstütze nicht am Gestellrahmen, sondern am Kasten angelenkt ist. Schliesslich sind noch Anordnungen möglich, bei welchen der einzelne Zahnradantrieb mit einem oder mehreren Radsätzen verkuppelt ist. Auch können bei Drehgestellfahrzeugen Lastausgleichsvorrichtungen zur Verbesserung der Stabilitätsverhältnisse vorgesehen werden. Schliesslich wurde im Falle des Drehgestellfahrzeugs stillschweigend angenommen, dass das einzelne Drehgestell vertikal und quer in der gleichen Längslage mit dem Kasten verbunden ist. Es kommen jedoch Anordnungen vor, bei welchen dies nicht der Fall ist. Es ist daher notwendig, die Längslage jeder Art der Kastenverbindung besonders festzuhalten. Die Ausarbeitung des Computerprogrammes zeigte, dass es ohne grosse Änderungen und Ergänzungen möglich ist, diese ursprünglich nicht berücksichtigten Möglichkeiten ebenfalls einzuschliessen.

Die Berücksichtigung der neu hinzukommenden Antriebsanordnung mit horizontaler, am Kasten angelenkter Drehmomentstütze bedingt die in Tabelle 1a des neuen, nachfolgend angeführten Abschnittes 1.7 angegebene Gruppierung der Antriebsarten. Zu deren Kennzeichnung werden die neuen Faktoren $\bar{\nu}$, Φ und Γ zusätzlich zu den bisherigen Faktoren ν und λ mit den in Tabelle 1a angegebenen Werten eingeführt. Die dabei aufgeführten vier Antriebsarten kommen sowohl für den Zahnradantrieb als auch für den allfällig zusätzlich vorhandenen Adhäsionsantrieb in Betracht. Dies gilt ebenso für die zugehörigen Faktoren.

Da gegebenenfalls ausser zwei Zahnradantrieben auch ein Adhäsionsantrieb vorhanden sein kann, ist es notwendig, die Antriebe besonders zu bezeichnen. Sie werden daher als Antrieb n und die dazugehörigen Grössen mit dem Index n gekennzeichnet (z.B. ξ_n , α_n , λ_n usw.). Die vom Antrieb n herrührenden und sich für das einzelne Zahnrad z bzw. für den einzelnen Radsatz r ergebenden Grössen werden mit den Indizes nz bzw. nr versehen (z.B. ξ_{nz} , Z_{nz}).

Die infolge des Zahnradantriebes mit vertikaler Drehmomentstütze entstehenden Laständerungen wurden bisher mit $\Delta_z L$, $\Delta_z R$ und $\Delta_z Q$ bezeichnet. Da jetzt der Adhäsionsantrieb ebenfalls betrachtet wird, sollen die entsprechenden Laständerungen mit $\Delta_n L$, $\Delta_n R$ und $\Delta_n Q$ bezeichnet werden.

Wird ein Zahnradantrieb n mit einem oder mehreren Radsätzen r verkuppelt, so wird dies mit Hilfe des Faktors Θ_n festgehalten, der in diesem Falle den Wert 1, sonst den Wert 0 aufweist. Die von den betreffenden Radsätzen am Umfang entwickelte Kraft U und der aufgenommene Anteil an der Kraft X_{Bg} werden mit \bar{U}_n und $\bar{\beta}_n$ bezeichnet.

Zur Berücksichtigung der bei Drehgestellfahrzeugen möglicherweise vorgesehenen Lastausgleichsvorrichtung werden die bei jedem Drehgestell talseitig und bergseitig zwischen Kasten und Gestellrahmen wirkenden Ausgleichskräfte D_o und D_u sowie die zugehörigen Abstände s_1 und s_2 neu eingeführt. Desgleichen werden für den eventuellen Fall einer vertikalen Abstützung der benachbarten Fahrzeuge die Stützkräfte N_o und N_u sowie ihre Abstände s_o und s_u neu eingeführt (siehe Bild 18).

Zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Längslage der Abstützung und der Quermitnahme des Kastens ist es notwendig, die Grössen g , g' , g'' , c_1 und c_2 neu zu definieren und die neuen Grössen d' , d'' , \bar{c}_1 und \bar{c}_2 einzuführen. Davon werden die Gleichungen (44.2), (53) und (54) sowie die Bilder 15 und 16 betroffen.

Im weiteren haben die Ausarbeitung des Computerprogrammes und die damit durchgeführte Berechnung verschiedenartiger Fälle gezeigt, dass einige der bisherigen Grössen nicht genügend klar definiert sind, was zu einer gewissen Unsicherheit bei der Festlegung der Eingabedaten führte. Es ist daher angezeigt, diese genauer zu definieren oder durch andere zu ersetzen bzw. zu ergänzen. Dies betrifft vor allem die Richtkraft P_{II} , die Anteilfaktoren ζ und φ sowie die rotierenden Massen m_{rot} .

Entsprechend dem meist auftretenden Fall der normalen Spiegelausgangsstellung wurden P_I und P_{II} als positiv definiert, wenn P_I nach innen und P_{II} nach aussen wirken. Der Spurkranzdruck \mathfrak{P} wurde dagegen allgemein, das heisst für alle Radsätze, als positiv definiert, wenn er wie P_I nach innen wirkt. Damit wiesen P_{II} und \mathfrak{P}_{II} entgegengesetzte positive Wirkungsrichtungen auf. Da sie eng miteinander verbunden sind, führte dies zu einer gewissen Verwirrung in der Beurteilung der Ergebnisse. Es erwies sich nachträglich im Interesse der Eindeutigkeit als angebracht, die gleiche positive Wirkungsrichtung für alle Richtkräfte P und Spurkranzdrücke \mathfrak{P} zu wählen und daher die positive Wirkungsrichtung von P_{II} zu ändern.

Die rotierenden Massen m_{rot} wurden mit Hilfe der Anteilfaktoren ζ und φ auf die einzelnen Drehgestelle und Zahnräder bzw. Radsätze verteilt. Der Klarheit halber werden sie jetzt mit m_{rotzI} , m_{rotZn} , m_{rotAi} , m_{rotAg} und m_{rotAn} unmittelbar bezeichnet. Damit wirken sich die jetzigen Anteilfaktoren ζ , α und β nur auf die Kräfte X_Z , X_A und X_B aus.

*

In der früheren Fassung bedingen nachträglich festgestellte Unstimmigkeiten folgende Korrekturen:

Index g : lies (g ist gleichwertig mit i).

$$\text{Masse } m_{rot}: \text{lies } m_{rot} = \frac{4 \sum (\Theta \ddot{u}^2) p}{D_z^2}$$

Längen h_c , h_d , h_f , h_k : streiche h_d .

Gleichungen (45') und (45'') S. 63: versetze die Schlussklammer des ersten Gliedes] nach $(M' + M'')$.

Gleichung (49.1) S. 64: lies in der []-Klammer der ersten Gleichung $+ \lambda_2 (a - z_2) \bar{A}_2$ statt $\lambda_2 (a - z_2) Z_2$.

Gleichung (62), S. 66: lies $-(\varrho_L - \varrho_R)_r$ statt $-(\varrho_L - \varrho_R)$.

Gleichung (72a), S. 72: lies $-eU_{ar}$ statt $-eU_{ar}$.

Gleichungen (103), (104) und (106), S. 76 u. 78: lies $\sin \delta$ statt $\sin \gamma$.

Dritte Textzeile nach Gleichung (43.2), S. 63: lies Moment M statt Moment D .

Zweite Textzeile nach Bild 28, S. 77: lies Bild 28 statt 27.

Dritte und fünfte Textzeile nach Gleichung (106), S. 78: lies Gleichung (106) statt (109).

Vierte Textzeile nach Gleichung (97), S. 75: lies Glied M statt Glied D.

Sechste Textzeile nach Gleichung (97): lies Anteil $t_z \lambda_z Z_{qz}$ statt Anteil $t_z v_z Z_{qz}$.

*

Zur Berücksichtigung der oben erwähnten neuen Möglichkeiten und zur genaueren Präzisierung gewisser Größen sind außer den oben angegebenen Korrekturen folgende *Ergänzungen* notwendig:

Bezeichnungen

Allgemeine Voraussetzungen (S. 51)

Zu Punkt g) lies: Mit Ausnahme der Richtkräfte P und der Spurkranzdrücke \mathfrak{P}

Neue Punkte:

- h) Ist im betrachteten Fahrgestell zusätzlich zum Zahnradantrieb auch ein Adhäsionsantrieb vorhanden, dann besteht keine Verkuppelung zwischen beiden Antriebsarten.
- i) Der Gestellrahmen ist verwindungssteif.
- j) Die Räder der angetriebenen, miteinander verkoppelten Radsätze weisen alle den gleichen Laufdurchmesser auf.

Neue Indizes; sie verweisen

A	auf den Adhäsionsantrieb
n	auf den Antrieb (Zahnrad- oder Adhäsionsantrieb)
nr	auf den Antrieb n, der auf dem Radsatz r gelagert ist (z. B. bedeuten B_{32}, f_{32}, b_{32} die Größen B, f und b des auf dem Radsatz 2 gelagerten Antriebes 3)
n	darauf, dass die betreffende Größe von den Antrieben herührt.
B	auf die Klotzbremse (auf die Räder der Radsätze wirkend)

Massen (neue Bezeichnungen)

$m_{\text{rot}z}$	die auf den Zahnradteilkreis reduzierte Masse der rotierenden Teile des Zahnradantriebes
$m_{\text{rot}A}$	die auf den Radumfang der Radsätze reduzierte Masse des Adhäsionsantriebes

Kräfte

ersetze \bar{A} durch	
\bar{A}_z, \bar{A}_{zr}	durchschnittlicher Zahnradlauftrieb des Zahnrades z bzw. des auf der Achse r gelagerten Zahnrades z ergänze am Schluss: oder auf den Triebwagenkasten
N	lies: Richtkraft des hinteren Radsatzes (positiv, wenn gegen Kurvenzentrum auf Radsatz wirkend)
P_{II}	

Neue Bezeichnungen

U_r	ergänze am Schluss: , im allgemeinen
\bar{U}_r	die Umfangskraft U_r des Radsatzes r im speziellen Fall des verkoppelten Zahnradantriebes
\bar{U}_n	Summe der Umfangskräfte \bar{U}_r der mit dem Zahnradantrieb n verkoppelten Radsätze
D	die durch eine Ausgleichvorrichtung gegebenen und zwischen Kasten und Drehgestellrahmen wirkenden Druckkräfte (D'_o, D'_u, D''_o, D''_u)

Ersetze X_z durch

X_z	und ergänze am Schluss der Definition ($X_{zi}, X_{zg}, X_{zn}, X_{zz}$)
-------	--

Ersetze X_A durch

X_B	Anteil von X_b , der durch die mittelbar auf die Radsätze wirkende Klotzbremse erzeugt wird
-------	---

X_A (neu)	Anteil von X_m bzw. X_b der vom Adhäsionsantrieb geliefert wird
-------------	---

Ersetze X durch

X_i, X_t	Beschleunigungs- oder Verzögerungskraft des Fahrzeugs i bzw. des ganzen Zuges
------------	---

Ersetze $\Delta_z L, \Delta_z R, \Delta_z Q$ durch

$\Delta_n L, \Delta_n R, \Delta_n Q$	Lager-, Rad- und Achsdruckänderung infolge der Achsantriebe mit vertikaler Drehmomentstütze
--------------------------------------	---

Ersetze $\Delta_A L, \Delta_A R$ durch

$\Delta_B L, \Delta_B R$	Lager- und Raddruckänderungen infolge der Klotzbremse
--------------------------	---

Wichtige Längen

Ersetze c, g, k, w durch

c, \bar{c}, d, g, k, w	Längen, die in den Bildern 15, 17 und 18 genauer definiert sind, wobei sich die Längen c und g auf die Punkte der vertikalen Abstützung und die Längen \bar{c} und d auf die Quermitnahmepunkte des Kastens beziehen
--------------------------	--

Faktoren

Ersetze die für ζ_g, ζ_z und ζ_r gegebenen Definitionen durch

$\zeta_g, \alpha_g, \beta_g$	der dem Triebgestell g zufallende proportionale Anteil der Kraft X_{zi} bzw. X_{Ai} bzw. X_{Bi} : $(X_{Zg} = \zeta_g X_{zi}, X_{Ag} = \alpha_g X_{Ai}, X_{Bg} = \beta_g X_{Bi})$
------------------------------	---

ζ_n, α_n	der dem Zahnrad- bzw. Adhäsionsantrieb n zufallende proportionale Anteil der Kraft X_{Zg} bzw. X_{Ag} : ($X_{Zn} = \zeta_n X_{Zg}, X_{An} = \alpha_n X_{Ag}$)
---------------------	--

ζ_{nz}	der dem Zahnrad z zufallende proportionale Anteil des vom Zahnradantrieb n entwickelten Zahndruckes Z_n : ($Z_z = \zeta_{nz} Z_n$)
--------------	--

α_{nr}	der dem Radsatz r zufallende proportionale Anteil der vom Adhäsionsantrieb n entwickelten Kraft ($X_{An} - \mathbf{b} m_{\text{rot}An}$): $(X_{Ar} - \mathbf{b} m_{\text{rot}Ar}) = \alpha_{nr} (X_{An} - \mathbf{b} m_{\text{rot}An})$
---------------	--

β_r	der dem Radsatz r zufallende proportionale Anteil der Kraft X_{Bg} : ($X_{Br} = \beta_r X_{Bg}$)
-----------	--

$\bar{\beta}_n$	der den mit dem Zahnradantrieb n verkoppelten Radsätzen zufallende proportionale Anteil der Bremskraft X_{Bg}
-----------------	---

δ_{rn} (neu)	Anteil der Umfangskraft \bar{U}_r des verkoppelten Radsatzes r an der vom Zahnradantrieb n übernommenen totalen Umfangskraft \bar{U}_n
---------------------	--

Ersetze λ_z und ν_z durch

λ_z, λ_n	Faktor mit dem Wert 1, wenn das Zahnrad z bzw. der Antrieb n im Rahmen gelagert ist, und
------------------------	--

ν_z, ν_n	Faktor mit dem Wert 1, wenn das Zahnrad z bzw. der Antrieb n auf einer Achse gelagert ist
----------------	---

ν_{zr}	Faktor mit dem Wert 1, wenn das Zahnrad z auf der Achse r gelagert ist
------------	--

$\bar{\nu}_n$	Faktor mit dem Wert 1, wenn der auf einer Radachse gelagerte Antrieb n eine vertikale Drehmomentstütze aufweist
---------------	---

Θ_n (neu)	Faktor mit dem Wert 1 beim verkoppelten bzw. mit dem Wert 0 beim unverkoppelten Zahnradantrieb
------------------	--

\varPhi_n (neu)	Faktor mit dem Wert 1 bei den Achsantrieben mit horizontaler Drehmomentenstütze bzw. mit dem Wert 0 bei dem Achsantrieb mit vertikaler Drehmomentenstütze (vgl. Tabelle 1a)
-------------------	---

Γ_n (neu)	Faktor mit dem Wert 1 bei den Achsantrieben mit am Kasten angreifender Drehmomentstütze bzw. mit dem Wert 0 bei den anderen Achsantrieben (vgl. Tabelle 1a)
------------------	---

Füge vor der Einleitung S. 53 hinzu:

Die an verschiedenen Stellen angegebenen Summen sind jeweils auf alle betreffenden Größen des betrachteten Fahrgestells zu beziehen. Zum Beispiel ist die Summe $\Sigma \varPhi_n Z_n$ der Gleichungen (48.2) auf alle Zahnradantriebe des Rahmenfahrzeugs bzw. die Summe $\Sigma (\varPhi_n Z_n)'_g$ auf alle Zahnradantriebe des talseitigen Gestells zu beziehen.

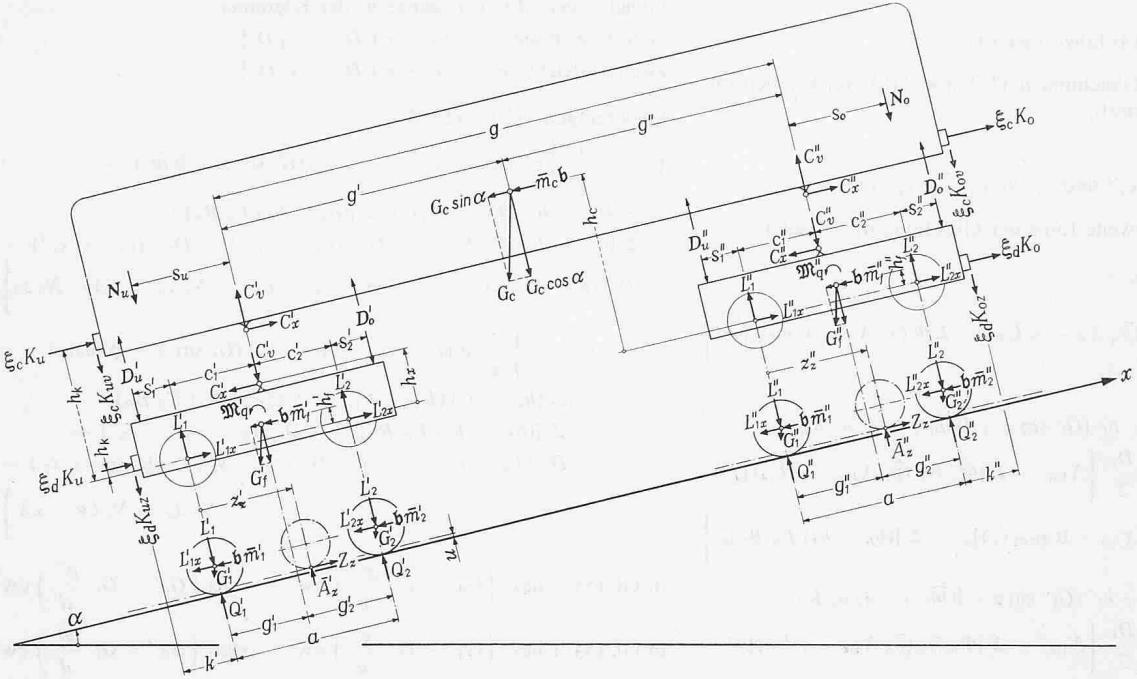


Bild 18. Die auf den Kasten und das einzelne Triebgestell eines Drehgestell-Fahrzeugs in der senkrechten Längsebene wirkenden Kräfte

Abschnitt 1.3: Dieser Abschnitt ist ganz durch folgenden zuersetzen:
1.3 Die Zahndrücke Z und die Umfangskräfte U

Von der eventuellen Zugkraft X_m bzw. Bremskraft X_b des betrachteten Fahrzeuges i bzw. Fahrgestelles wird unmittelbar im Fahrzeug selbst der Anteil $\mathbf{b} m_{\text{rot}}$ zur Beschleunigung der rotierenden Massen m_{rot} verbraucht, so dass sich die an der Zahnstange zur Wirkung kommende Zugkraft Z zu

$$(12.1) \quad Z_i = (X_{mi} \text{ bzw. } X_{bi}) - \mathbf{b} m_{\text{rot}i} - \psi (\Sigma U_r)_i$$

im Falle des Fahrzeuges i bzw. zu

$$(12.2) \quad Z_g = (X_{mg} \text{ bzw. } X_{bg}) - \mathbf{b} m_{\text{rot}g} - \psi U_g$$

im Falle des Fahrgestelles g ergibt und bergwärts auf das Fahrzeug bzw. Fahrgestell wirkt, wenn sie positiv ausfällt. Seinerseits ergibt sich der vom einzelnen Zahradantrieb n entwickelte Zahndruck zu

$$(12.3) \quad Z_n = (\xi_n X_{Zg} - \mathbf{b} m_{\text{rot}zn}) + \Theta_n [\beta_n X_{Bg} - \psi \bar{U}_n]$$

und der auf das Zahnradd z entfallende Anteil zu

$$(12.4) \quad Z'_z = \zeta_{nz} Z'_n \text{ bzw. } Z''_z = \zeta''_{nz} Z''_n.$$

Entsprechend der Voraussetzung h , ist der von einem Adhäsionsantrieb n angetriebene Radsatz r grundsätzlich mit keinem Zahnradd verkuppelt. Daher kann er sich in seiner Drehzahl unabhängig von der Zahnstange einstellen und selbstständig seine Umfangskraft

$$(13) \quad U_r = \alpha_{nr} (\alpha_n X_{Ag} - \mathbf{b} m_{\text{rot}An}) + \beta_r X_{Bg}$$

entwickeln. Sind dagegen beide Radsätze miteinander verkuppelt, dann drehen beide gleich schnell. Sie weisen daher die gleiche Ordinate η ihres Momentanzentrums M auf, welche sich derart einstellen muss, dass beide Radsätze zusammen die Umfangskraft

$$(14) \quad (U_1 + U_2) = (X_{Ag} - \mathbf{b} m_{\text{rot}Ag}) + X_{Bg}$$

aufweisen.

Der mit einem Zahradantrieb verkuppelte Radsatz ist in seiner Drehzahl an die Zahnstange gebunden. Er weist die gleiche Ordinate η auf, die entsprechend Gl. (89) kinematisch festgelegt ist. Seine Umfangskraft U_r hängt daher nicht mehr von der ihm aufgezwungenen Kraft X ab. Sie ergibt sich in diesem Falle gemäß Gl. (80).

Abschnitt 1.7:

Durch die Einführung der Faktoren Φ_n , Γ_n und ν_n konnten all-

gemeine, alle Antriebsarten berücksichtigende Beziehungen aufgestellt werden. Der vor Gl. (29) stehende bisherige Text wird somit überflüssig und die bisherigen Abschnitte 1.7.1 und 1.7.2 lauten wie folgt:

1.7.1 Die verschiedenen Antriebsarten

Die Zahrad- oder Adhäsionsantriebe können im Rahmen oder auf den Radsatzachsen gelagert sein. Im letzteren Falle weisen sie eine Drehmomentstütze auf, die vertikal oder horizontal gerichtet sein kann. Die vertikale Drehmomentstütze wird praktisch stets am Gestellrahmen, die horizontale hingegen am Gestellrahmen oder direkt am Kasten angelenkt. Es ergeben sich somit die in Tabelle 1a dargestellten vier Antriebsarten, zu deren Kennzeichnung die dabei aufgeführten Faktoren notwendig sind.

1.7.2 Die Lagerdruckänderungen

Im Falle der Antriebslagerung auf den Radsatzachsen muss das Antriebs- oder Bremsmoment durch ein entsprechendes Reaktionsmoment kompensiert werden. Dieses wird bei den üblichen Ausführungen mit einer Drehmomentstütze durch ein Kräftepaar bB geliefert. Seine Stützkraft berechnet sich zu

$$(29) \quad B_n = \frac{1}{2 b_n} \left\{ Z_n D_z + [(\alpha_n X_{Ag} - \mathbf{b} m_{\text{rot}An}) - \Theta_n (\beta_n X_{Ag} - \psi \bar{U}_n)] D_r \right\}$$

Die Grösse dieser Stützkraft B_n ist unabhängig davon, auf welchem Radsatz der betreffende Antrieb n gelagert ist. Dies ist dagegen nicht der Fall für ihre Richtung und ihre Wirkung auf den Radsatz und auf den Rahmen. Es ist deshalb notwendig, die dem Antrieb n eigenen Grössen $\bar{\nu}$, f , b und B mit dem Index nr bzw. $n1$ oder $n2$ dem zugehörigen Radsatz zuzuordnen.

Die vertikale Komponente der einzelnen Stützkraft B_{nr} wirkt einerseits unmittelbar auf die Radsatzachse r und anderseits am Ende der Drehmomentstütze b_n auf den Rahmen, durch welchen sie sich indirekt über die Lagerdrücke auf die Radsätze auswirkt. Die entsprechenden Verhältnisse sind im Bild 13 dargestellt. In diesem ist je ein Antrieb pro Radsatz vorausgesetzt. Es könnten aber auch zwei unabhängige Antriebe (ein Zahrad- und ein Adhäsionsantrieb) auf einer Achse vorhanden sein. Deshalb sollen in folgenden Ableitungen jeweils die Kräfte B_{n1} und B_{n2} sowie ihre Momente summiert über n in Betracht gezogen werden.

Werden diese Kräfte auf das Zentrum des Gestellrahmens verlegt, dann wirken dort

$$\text{eine Kraft } \Sigma \bar{v}_{n_1} B_{n_1} - \Sigma \bar{v}_{n_2} B_{n_2}$$

$$\text{ein Moment } M_{nx} = + \Sigma [\bar{v}_n B_n (f_n - e)]_g$$

$$\text{ein Moment } M_{nq} = - \sum \left[\bar{v}_n B_n \left(\frac{a - 2b_n}{2} \right) \right]_g$$

Unter der Voraussetzung, dass beide Federn des einzelnen Radsatzes gleich steif sind und dass der Rahmen verwindungsfrei ist, ergeben sich die Lagerdruckänderungen zu

$$\begin{aligned} \Delta_n L_{L1} &= - \frac{\Sigma \bar{v}_{n_1} B_{n_1} - \Sigma \bar{v}_{n_2} B_{n_2}}{4} + \tau_1 \frac{M_{nx}}{2l} + \frac{M_{nq}}{2a} \\ &= - \sum \frac{\bar{v}_{n_1} B_{n_1}}{2} \left[\left(\frac{a - b_{n_1}}{a} \right) - \tau_1 \left(\frac{f_{n_1} - e}{l} \right) \right] + \\ &\quad + \sum \frac{\bar{v}_{n_2} B_{n_2}}{2} \left[\left(\frac{b_{n_2}}{a} \right) + \tau_1 \left(\frac{f_{n_2} - e}{l} \right) \right] \\ \Delta_n L_{R1} &= - \frac{\Sigma \bar{v}_{n_1} B_{n_1} - \Sigma \bar{v}_{n_2} B_{n_2}}{4} - \tau_1 \frac{M_{nx}}{2l} + \frac{M_{nq}}{2a} \\ &= - \sum \frac{\bar{v}_{n_1} B_{n_1}}{2} \left[\left(\frac{a - b_{n_1}}{a} \right) + \tau_1 \left(\frac{f_{n_1} - e}{l} \right) \right] + \\ &\quad + \sum \frac{\bar{v}_{n_2} B_{n_2}}{2} \left[\left(\frac{b_{n_2}}{a} \right) - \tau_1 \left(\frac{f_{n_2} - e}{l} \right) \right] \end{aligned} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} \Delta_n L_{L2} &= - \frac{\Sigma \bar{v}_{n_1} B_{n_1} - \Sigma \bar{v}_{n_2} B_{n_2}}{4} + \tau_2 \frac{M_{nx}}{2l} - \frac{M_{nq}}{2a} \\ &= - \sum \frac{\bar{v}_{n_1} B_{n_1}}{2} \left[\left(\frac{b_{n_1}}{a} \right) - \tau_2 \left(\frac{f_{n_1} - e}{l} \right) \right] + \\ &\quad + \sum \frac{\bar{v}_{n_2} B_{n_2}}{2} \left[\left(\frac{a - b_{n_2}}{a} \right) + \tau_2 \left(\frac{f_{n_2} - e}{l} \right) \right] \\ \Delta_n L_{R2} &= - \frac{\Sigma \bar{v}_{n_1} B_{n_1} - \Sigma \bar{v}_{n_2} B_{n_2}}{4} - \tau_2 \frac{M_{nx}}{2l} - \frac{M_{nq}}{2a} \\ &= - \sum \frac{\bar{v}_{n_1} B_{n_1}}{2} \left[\left(\frac{b_{n_1}}{a} \right) + \tau_2 \left(\frac{f_{n_1} - e}{l} \right) \right] + \\ &\quad + \sum \frac{\bar{v}_{n_2} B_{n_2}}{2} \left[\left(\frac{a - b_{n_2}}{a} \right) - \tau_2 \left(\frac{f_{n_2} - e}{l} \right) \right] \end{aligned}$$

Diese Lagerdruckänderungen führen zu den Raddruckänderungen

$$\begin{aligned} \Delta_n R_{L1} &= + \sum \frac{\bar{v}_{n_1} B_{n_1}}{2} \left[\frac{b_{n_1}}{a} - (1 - \tau_1) \left(\frac{f_{n_1} - e}{e} \right) \right] + \\ &\quad + \sum \frac{\bar{v}_{n_2} B_{n_2}}{2} \left[\frac{b_{n_2}}{a} + \tau_1 \left(\frac{f_{n_2} - e}{e} \right) \right] \\ \Delta_n R_{R1} &= + \sum \frac{\bar{v}_{n_1} B_{n_1}}{2} \left[\frac{b_{n_1}}{a} + (1 - \tau_1) \left(\frac{f_{n_1} - e}{e} \right) \right] + \\ &\quad + \sum \frac{\bar{v}_{n_2} B_{n_2}}{2} \left[\frac{b_{n_2}}{a} - \tau_1 \left(\frac{f_{n_2} - e}{e} \right) \right] \\ \Delta_n R_{L2} &= - \sum \frac{\bar{v}_{n_1} B_{n_1}}{2} \left[\frac{b_{n_1}}{a} - \tau_2 \left(\frac{f_{n_1} - e}{e} \right) \right] - \\ &\quad - \sum \frac{\bar{v}_{n_2} B_{n_2}}{2} \left[\frac{b_{n_2}}{a} + (1 - \tau_2) \left(\frac{f_{n_2} - e}{e} \right) \right] \end{aligned} \quad (31)$$

Tabelle 19. Gruppierung und Kennzeichnung der Antriebsarten

Lagerung des Antriebes				
Im Rahmen	Auf Radsatzachse			
	Drehmomentstütze			
	vertikal	horizontal, verbunden mit Gestellrahmen	Kosten	
Antriebsart				
b	1	2	3	
λ	1	0	0	0
ν	0	1	1	1
\bar{v}	0	1	0	0
Φ	1	0	1	1
Γ	0	0	0	1

$$\begin{aligned} \Delta_n R_{R2} &= - \sum \frac{\bar{v}_{n_1} B_{n_1}}{2} \left[\frac{b_{n_1}}{a} + \tau_2 \left(\frac{f_{n_1} - e}{e} \right) \right] - \\ &\quad - \sum \frac{\bar{v}_{n_2} B_{n_2}}{2} \left[\frac{b_{n_2}}{a} - (1 - \tau_2) \left(\frac{f_{n_2} - e}{e} \right) \right] \end{aligned}$$

woraus sich die Achsdruckänderungen zu

$$(32) \quad \begin{cases} \Delta_n Q_1 = + \frac{\Sigma \bar{v}_n B_n b_n}{a} \\ \Delta_n Q_2 = - \frac{\Sigma \bar{v}_n B_n b_n}{a} \end{cases}$$

ergeben. Bei symmetrischer Anordnung der Antriebe und bei gleich starker Wirkung derselben auf ihre Radsätze wird

$$\Sigma \bar{v}_{n_1} B_{n_1} = \Sigma \bar{v}_{n_2} B_{n_2} = 1/2 \Sigma \bar{v}_n B_n$$

Wird ferner gleiche Steifigkeit der beiden Radsatzfederungen ($\tau_1 = \tau_2 = 0,5$) vorausgesetzt, dann vereinfachen sich Gl. (30) und (31) zu

$$\begin{aligned} \Delta_n L_{L1} &= - \left\{ \frac{1}{4} \sum \bar{v}_n B_n \left[\left(\frac{a - 2b_n}{a} \right) - \left(\frac{f_n - e}{l} \right) \right] \right\} \\ \Delta_n L_{R2} &= + \left\{ \frac{1}{4} \sum \bar{v}_n B_n \left[\left(\frac{a - 2b_n}{a} \right) + \left(\frac{f_n - e}{l} \right) \right] \right\} \\ \Delta_n L_{R1} &= - \left\{ \frac{1}{4} \sum \bar{v}_n B_n \left[\left(\frac{b_n}{a} \right) + \left(\frac{f_n - e}{l} \right) \right] \right\} \\ \Delta_n L_{L2} &= + \left\{ \frac{1}{4} \sum \bar{v}_n B_n \left[\left(\frac{a - b_n}{a} \right) - \left(\frac{f_n - e}{l} \right) \right] \right\} \end{aligned} \quad (33)$$

und

$$(34) \quad \begin{cases} \Delta_n R_{L1} = \Delta_n R_{R1} = + \left\{ \sum \frac{\bar{v}_n B_n b_n}{2a} \right\} \\ \Delta_n R_{L2} = \Delta_n R_{R2} = - \left\{ \sum \frac{\bar{v}_n B_n b_n}{2a} \right\} \end{cases}$$

Diese Gleichungen zeigen, dass im Falle

$$\Sigma \bar{v}_{n_1} B_{n_1} = \Sigma \bar{v}_{n_2} B_{n_2} = 1/2 \Sigma \bar{v}_n B_n$$

beide Räder des gleichen Radsatzes die gleiche Raddruckänderung aufweisen. Ist nur ein Antrieb vorhanden oder in Wirkung, dann tritt in den Gleichungen (30) und (31) nur die entsprechende Kraft B_{11} oder B_{12} auf, so dass die Raddruckänderungen unsymmetrisch werden.

Wird beim einzelnen Fahrgestell g ein Bremsmoment $X_{Bg} D_r/2$ unmittelbar auf die Laufräder ausgeübt, dann ergeben sich dadurch zusätzlich die Druckänderungen

$$(35) \quad \begin{cases} \Delta_B L_{L1} = \Delta_B L_{R1} = \Delta_B R_{L1} = \Delta_B R_{R1} = + \left\{ X_{Bg} \frac{D_r}{4a} \right\} \\ \Delta_B L_{L2} = \Delta_B L_{R2} = \Delta_B R_{L2} = \Delta_B R_{R2} = - \left\{ X_{Bg} \frac{D_r}{4a} \right\} \end{cases}$$