

---

# Fahrdynamik der Schienenfahrzeuge

---

Martin Kache

# Fahrdynamik der Schienenfahrzeuge

Grundlagen der Leistungsauslegung  
sowie der Energiebedarfs- und  
Fahrzeitberechnung

Martin Kache  
Dresden, Sachsen, Deutschland

ISBN 978-3-658-41712-3      ISBN 978-3-658-41713-0 (eBook)  
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-41713-0>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2024

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Ellen-Susanne Klabunde

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Das Papier dieses Produkts ist recyclebar.

*Abbildungsnachweis:*  
*Alle Abbildungen in diesem Lehrbuch stammen,*  
*sofern nicht anders angegeben, vom Autor selbst.*

---

# Vorwort

Die Fahrdynamik der Schienenfahrzeuge ist ein vielfältiges und interessantes Lehrgebiet, das ich 14 Jahre lang an der *Professur für Technik spurgeführter Fahrzeuge* der TU Dresden mit großer Freude betreuen durfte. Bevor das WissZeitVG meiner Tätigkeit an der Universität ein Ende setzte, zwang uns die Corona-Pandemie, die Lehre vom Hörsaal in digitale Welt zu verlagern und so manchen Gedankengang, der sonst an der Tafel entwickelt wurde, zu verschriftlichen. So entstand ein Vorlesungsskript, das den Kern für dieses Buch bildete.

Nach einer Reihe von Ergänzungen und Erweiterungen liegt nun dieses Buch vor, das den Versuch darstellt, der Leserschaft fahrdynamische Zusammenhänge in anschaulicher und zeitgemäßer Form zugänglich zu machen. Natürlich hoffe ich, dass es nicht beim Versuch bleibt, sondern dass die Lektüre des Buches Studierenden tatsächlich weiterhilft, sich in dem komplexen Gebiet der Fahrdynamik des Schienenverkehrs zurecht zu finden.

Sicherlich gibt es fachliche Aspekte, die ihren Weg (noch) nicht in dieses Buch gefunden haben. Ein ausgeprägter Hang zur Vollständigkeit ist jedoch immer hinderlich, wenn dann auch mal ein konkretes Werk entstehen soll und der Termin der Manuskriptabgabe naht. Schauen wir mal, was die Zukunft bringt. Anregungen, Hinweise und Berichtigungen nehme ich gern entgegen.

An dieser Stelle möchte ich aber noch meine Dankbarkeit all jenen Menschen gegenüber zum Ausdruck bringen, die an der Entstehung dieses Buches direkt oder indirekt beteiligt waren beziehungsweise, im Falle meiner Frau und meiner Kinder, den berufsbegleitenden „Schreibprozess erdulden mussten.“

Ich danke also meiner Familie für Ihre Geduld und meiner Frau Franziska sowie meinen Eltern für ihre ausdauernde und vielfältige Unterstützung im täglichen Leben. Meinem Vater, Ulrich Kache, danke ich für das kritische Lektorat meiner Texte.

Ferner gilt mein Dank den ehemaligen Kollegen an der TU Dresden, namentlich Holger Fricke, Karim Benabdellah und Stephan Schultze, für so manchen nützlichen Hinweis und viele anregende fachliche Diskussionen. Meinem ehemaligen Chef, Prof. em. Dr.-Ing. Dr. h.c. Günter Löffler, gebührt Dank dafür, dass er mir das Lehrgebiet anvertraut hat und mir eine stetige Weiterentwicklung in der universitären Lehre ermöglichte.

Dem Springer Vieweg – Verlag, vertreten durch Frau Ellen-Susanne Klabunde und Frau Annette Prenzer, danke ich ebenfalls für die geleistete Unterstützung und die stets gute sowie vertrauensvolle Zusammenarbeit.

E-Mail: [Fahrdynamik\\_Sfz@posteo.de](mailto:Fahrdynamik_Sfz@posteo.de)

Dresden  
im Dezember 2023

Dr.-Ing. Martin Kache

---

# Inhaltsverzeichnis

|          |                                                   |          |
|----------|---------------------------------------------------|----------|
| <b>1</b> | <b>Definition und Einordnung des Lehrgebietes</b> | <b>1</b> |
| 1.1      | Abgrenzung des Lehrgebietes Fahrdynamik           | 1        |
| 1.2      | Definition des Lehrgebietes Fahrdynamik           | 2        |
| 1.3      | Nutzen der Fahrdynamik                            | 3        |
| 1.4      | Fahrdynamik als Querschnittsdisziplin             | 4        |
| <b>2</b> | <b>Grundlagen der Fahrdynamik</b>                 | <b>7</b> |
| 2.1      | Fahrdynamisch relevante Kräfte                    | 7        |
| 2.1.1    | Längskräfte an Fahrzeugen und Zügen               | 7        |
| 2.1.2    | Antriebskräfte                                    | 8        |
| 2.1.3    | Bremskräfte                                       | 9        |
| 2.1.4    | Fahrwiderstandskräfte                             | 10       |
| 2.1.5    | Massenträgheitskraft                              | 11       |
| 2.2      | Fahrdynamische Grundgleichung                     | 12       |
| 2.3      | Weitere fundamentale Gleichungen                  | 13       |
| 2.4      | Phasen der Zugfahrt                               | 15       |
| 2.4.1    | Fahrschaubild und Fahrspiel                       | 15       |
| 2.4.2    | Der Anfahrvorgang                                 | 17       |
| 2.4.3    | Der Beschleunigungsvorgang                        | 17       |
| 2.4.4    | Die Beharrungsfahrt                               | 18       |
| 2.4.5    | Der Fahrzeugauslauf                               | 20       |
| 2.4.6    | Die Bremsung                                      | 20       |
| 2.5      | Der fahrdynamische Massenfaktor                   | 21       |
| 2.5.1    | Bedeutung des fahrdynamischen Massenfaktors       | 21       |
| 2.5.2    | Herleitung des fahrdynamischen Massenfaktors      | 24       |
| 2.5.3    | Einflüsse auf den fahrdynamischen Massenfaktor    | 26       |
| 2.5.4    | Ermittlung des fahrdynamischen Massenfaktors      | 30       |
| 2.5.5    | Drehmassen                                        | 36       |
| 2.5.6    | Abschätzung des fahrdynamischen Massenfaktors     | 37       |

|          |                                                                         |            |
|----------|-------------------------------------------------------------------------|------------|
| 2.6      | Fahrdynamische Massenfaktoren ausgeführter Fahrzeuge .....              | 39         |
| 2.7      | Lernkontrollfragen zu den Grundlagen der Fahrdynamik .....              | 40         |
| <b>3</b> | <b>Fahrwiderstandskräfte .....</b>                                      | <b>43</b>  |
| 3.1      | Einteilung der Fahrwiderstandskräfte .....                              | 43         |
| 3.2      | Spezifische Kräfte .....                                                | 43         |
| 3.3      | Fahrzeugwiderstandskräfte .....                                         | 46         |
| 3.3.1    | Grundwiderstandskraft .....                                             | 46         |
| 3.3.2    | Anfahrwiderstand .....                                                  | 68         |
| 3.3.3    | Luftwiderstandskräfte .....                                             | 73         |
| 3.3.4    | Tunnelwiderstandskraft .....                                            | 108        |
| 3.3.5    | Empirisch ermittelte Fahrzeugwiderstandskräfte .....                    | 114        |
| 3.3.6    | Fahrzeugwiderstandskräfte von Straßen- und<br>Stadtbahnfahrzeugen ..... | 123        |
| 3.4      | Streckenwiderstandskräfte .....                                         | 132        |
| 3.4.1    | Charakterisierung und Einordnung des<br>Streckenwiderstandes .....      | 132        |
| 3.4.2    | Der Längsneigungswiderstand .....                                       | 133        |
| 3.4.3    | Der Bogenwiderstand .....                                               | 136        |
| 3.4.4    | Der effektive Streckenwiderstand .....                                  | 140        |
| 3.4.5    | Gesamtwiderstand .....                                                  | 145        |
| 3.5      | Lernkontrollfragen zu Fahrwiderstandskräften .....                      | 149        |
| <b>4</b> | <b>Antriebskräfte .....</b>                                             | <b>153</b> |
| 4.1      | Bedeutung der Antriebskräfte in der Fahrdynamik .....                   | 153        |
| 4.2      | Zugkraftcharakteristik .....                                            | 154        |
| 4.3      | Zugkraftherzeugung an der Kraftschlussgrenze .....                      | 161        |
| 4.3.1    | Physik des Kraftschlusses zwischen Rad und Schiene .....                | 161        |
| 4.3.2    | Kraftschlussausnutzung .....                                            | 165        |
| 4.3.3    | Zugkraftbedingte Radsatzentlastung .....                                | 171        |
| 4.4      | Zugkraftherzeugung an der Leistungsgrenze .....                         | 173        |
| 4.4.1    | Antriebskonfigurationen .....                                           | 173        |
| 4.4.2    | Zugkraftcharakteristik von Dieselmotorfahrzeugen .....                  | 176        |
| 4.4.3    | Zugkraftcharakteristik von Elektromotorfahrzeugen .....                 | 212        |
| 4.5      | Verständnisfragen .....                                                 | 227        |
| <b>5</b> | <b>Fahrdynamische Charakteristiken .....</b>                            | <b>233</b> |
| 5.1      | Das Traktionsvermögen von Triebfahrzeugen .....                         | 233        |
| 5.2      | Steigfähigkeit .....                                                    | 235        |
| 5.3      | Beschleunigungsvermögen .....                                           | 237        |
| 5.4      | Schleppvermögen .....                                                   | 239        |
| 5.5      | Lokomotiv-Kennprogramm .....                                            | 242        |

|          |                                                                               |            |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.6      | Grenzlasten .....                                                             | 250        |
| 5.7      | Verständnisfragen .....                                                       | 252        |
| <b>6</b> | <b>Triebfahrzeugauslegung auf fahrdynamischer Basis .....</b>                 | <b>253</b> |
| 6.1      | Leistungsauslegung auf Basis von Zugförderprogrammen .....                    | 253        |
| 6.1.1    | Grundlagen der fahrdynamisch-basierten<br>Leistungsauslegung .....            | 253        |
| 6.1.2    | Fahrdynamische Auslegung elektrischer Triebfahrzeuge .....                    | 257        |
| 6.1.3    | Fahrdynamische Auslegung von Dieseltriebfahrzeugen .....                      | 259        |
| 6.1.4    | Anmerkungen zum Umgang mit den fahrdynamischen<br>Auslegungsgleichungen ..... | 262        |
| 6.2      | Leistungsauslegung auf Fahrspielbasis .....                                   | 263        |
| 6.3      | Auslegung auf Basis fahrdynamischer Simulationen .....                        | 277        |
| 6.3.1    | Relevanz dieser Auslegungsstrategie .....                                     | 277        |
| 6.3.2    | Auslegungsbeispiel .....                                                      | 277        |
| 6.3.3    | Fazit zur simulationsbasierten fahrdynamischen Auslegung ....                 | 284        |
| 6.4      | Verständnisfragen .....                                                       | 285        |
| <b>7</b> | <b>Bremskräfte .....</b>                                                      | <b>289</b> |
| 7.1      | Eisenbahnbremstechnik als eigene Fachdisziplin .....                          | 289        |
| 7.2      | Besonderheiten von Eisenbahnbremsen .....                                     | 290        |
| 7.3      | Aufgaben der Bremsen .....                                                    | 296        |
| 7.3.1    | Geschwindigkeitsverminderung .....                                            | 296        |
| 7.3.2    | Geschwindigkeitsregulierung .....                                             | 298        |
| 7.3.3    | Stillstandssicherung .....                                                    | 298        |
| 7.4      | Kategorisierung von Bremsungen .....                                          | 299        |
| 7.4.1    | Vorbemerkungen .....                                                          | 299        |
| 7.4.2    | Bremsungsarten .....                                                          | 299        |
| 7.5      | Kategorisierung von Schienenfahrzeugbremsen .....                             | 303        |
| 7.5.1    | Unterscheidungsmerkmale von Eisenbahnbremsen .....                            | 303        |
| 7.5.2    | Einteilung der Bremsen nach ihrem Wirkprinzip .....                           | 303        |
| 7.5.3    | Einteilung der Bremsen nach dem zugrundeliegenden<br>Normenwerk .....         | 307        |
| 7.5.4    | Einteilung der Bremsen nach Effizienzkriterien .....                          | 308        |
| 7.6      | Allgemeine Anforderungen an Eisenbahnbremsen .....                            | 310        |
| 7.7      | Allgemeine Merkmale der Eisenbahnbremsen .....                                | 312        |
| 7.8      | Druckluftbremsen .....                                                        | 314        |
| 7.8.1    | Vorbemerkungen zur Druckluftbremse .....                                      | 314        |
| 7.8.2    | Aufbau der Druckluftbremse .....                                              | 315        |
| 7.8.3    | Kraftschluss und Reibung beim Bremsen von<br>Eisenbahnradsätzen .....         | 336        |

|          |                                                                     |            |
|----------|---------------------------------------------------------------------|------------|
| 7.9      | Dynamische Radbremsen .....                                         | 346        |
| 7.9.1    | Charakterisierung Dynamischer Radbremsen .....                      | 346        |
| 7.9.2    | Elektrodynamische Bremsen .....                                     | 347        |
| 7.9.3    | Hydrodynamische Bremsen .....                                       | 350        |
| 7.10     | Schienenbremsen .....                                               | 352        |
| 7.10.1   | Magnetschienenbremsen .....                                         | 352        |
| 7.10.2   | Lineare Wirbelstrombremsen .....                                    | 355        |
| 7.11     | Zusammenwirken mehrerer Bremssysteme .....                          | 355        |
| 7.12     | Bremswegberechnung .....                                            | 360        |
| 7.12.1   | Vorbemerkungen zur Bremswegberechnung .....                         | 360        |
| 7.12.2   | Kinematische Bremswegberechnung .....                               | 364        |
| 7.12.3   | Bremswegermittlung auf empirischer Basis .....                      | 371        |
| 7.13     | Betriebliche Bremsberechnung .....                                  | 373        |
| 7.13.1   | Notwendigkeit der betrieblichen Bremsberechnung .....               | 373        |
| 7.13.2   | Grundkonzept der betrieblichen Bremsberechnung .....                | 374        |
| 7.13.3   | Die Bremsbewertung von Eisenbahnfahrzeugen .....                    | 377        |
| 7.13.4   | Fahrdynamische Relevanz der betrieblichen<br>Bremsberechnung .....  | 378        |
| 7.14     | Verständnisfragen .....                                             | 380        |
| <b>8</b> | <b>Energiebedarf von Zugfahrten .....</b>                           | <b>383</b> |
| 8.1      | Vorbetrachtungen zu Energie und Arbeit .....                        | 383        |
| 8.2      | Energie und Arbeit an den Treibrädern .....                         | 386        |
| 8.3      | Triebfahrzeugwirkungsgrad .....                                     | 396        |
| 8.3.1    | Von der Treibradarbeit zur Traktionsenergie .....                   | 396        |
| 8.3.2    | Triebfahrzeug-Kennlinienfelder .....                                | 397        |
| 8.3.3    | Triebfahrzeug-Leistungs- und Verbrauchstafeln<br>(TLV-Tafeln) ..... | 407        |
| 8.4      | Grundzüge des Energiesparenden Fahrens .....                        | 408        |
| 8.4.1    | Randbedingungen .....                                               | 408        |
| 8.5      | Strategien für energiesparendes Fahren .....                        | 412        |
| 8.6      | Verständnisfragen .....                                             | 421        |
| <b>9</b> | <b>Fahrzeitermittlung .....</b>                                     | <b>425</b> |
| 9.1      | Vorbemerkungen zur Fahrzeitermittlung .....                         | 425        |
| 9.2      | Linearisierung .....                                                | 433        |
| 9.3      | Schrittverfahren .....                                              | 435        |
| 9.3.1    | Grundidee der Schrittverfahren .....                                | 435        |
| 9.3.2    | Das Geschwindigkeitsschrittverfahren .....                          | 436        |
| 9.3.3    | Das Zeitschrittverfahren .....                                      | 437        |
| 9.3.4    | Das Wegschrittverfahren .....                                       | 439        |

---

|                                                                     |                             |            |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------|
| 9.4                                                                 | Integrationsverfahren ..... | 440        |
| 9.5                                                                 | Verständnisfragen .....     | 446        |
| <b>A Fahrdynamische Massenfaktoren spezifischer Fahrzeuge .....</b> |                             | <b>447</b> |
| <b>B Gleichungen zum spezifischen Bogenwiderstand .....</b>         |                             | <b>451</b> |
| <b>C Spannungsversorgung von Eisenbahnen in Europa .....</b>        |                             | <b>455</b> |
| <b>D Bremsgestängewirkungsgrad .....</b>                            |                             | <b>457</b> |
| <b>Literatur .....</b>                                              |                             | <b>459</b> |

# Symbol- und Abkürzungsverzeichnis

## Lateinische Symbole

| Großbuchstaben     |                                                |                |
|--------------------|------------------------------------------------|----------------|
| Größe              | Benennung                                      | Einheit        |
| $A$                | Querschnittsfläche von Eisenbahnfahrzeugen     | $\text{m}^2$   |
| $A_{\text{norm}}$  | Normquerschnittsfläche von Eisenbahnfahrzeugen | $\text{m}^2$   |
| $B$                | Bremsgewicht von Eisenbahnfahrzeugen           | t              |
| $E_{\text{kin}}$   | kinetische Energie                             | kJ bzw. kWh    |
| $F_{\text{B}}$     | Bremskraft                                     | kN             |
| $F_{\text{B,ED}}$  | Bremskraft der elektrodynamischen Bremse(n)    | kN             |
| $F_{\text{B,EH}}$  | Bremskraft der hydrodynamischen Bremse(n)      | kN             |
| $F_{\text{C}}$     | Bremszylinderkraft                             | kN             |
| $F_{\text{T}}$     | Zugkraft am Treibradumfang                     | kN             |
| $F_{\text{W}}$     | Fahrwiderstandskraft                           | kN             |
| $F_{\text{WF0}}$   | Grundwiderstandskraft                          | kN             |
| $F_{\text{WFL}}$   | Luftwiderstandskraft                           | kN             |
| $F_{\text{WFT}}$   | Triebfahrzeugwiderstandskraft                  | kN             |
| $F_{\text{WFW}}$   | Wagenzugwiderstandskraft                       | kN             |
| $F_{\text{WL}}$    | Luftwiderstandskraft                           | kN             |
| $F_{\text{WL,Bs}}$ | Luftwiderstandskraft durch Brems scheiben      | kN             |
| $F_{\text{WS}}$    | Streckenwiderstandskraft                       | kN             |
| $F_{\text{Z}}$     | Zugkraft am Zughaken                           | kN             |
| $J$                | Trägheitsmoment um die Hauptrotationsachse     | $\text{kgm}^2$ |
| $M$                | Drehmoment                                     | kNm            |
| $M_{\text{K}}$     | Kippmoment einer Drehstromasynchronmaschine    | kNm            |

(Fortsetzung)

(Fortsetzung)

| Großbuchstaben |                                                                       |                   |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Größe          | Benennung                                                             | Einheit           |
| $P$            | Leistung allgemein                                                    | kW                |
| $P_A$          | Leistungsbezug am Stromabnehmer                                       | kW                |
| $P_{DM,T}$     | Leistungsabgabe eines Dieselmotors zur Erzeugung von Traktionskräften | kW                |
| $P_{Hi}$       | Hilfsleistungsbedarf / Hilfsbetriebeleistungsbedarf                   | kW                |
| $P_{Komf}$     | Komfortleistung(sbedarf) bzw. Nebenbetriebeleistung(sbedarf)          | kW                |
| $P_T$          | Treibradleistung / Leistung am Treibradumfang                         | kW                |
| $P_{WFT}$      | am Triebfahrzeugwiderstand umgesetzte Leistung                        | kW                |
| $P_{WS}$       | am Neigungswiderstand umgesetzte Leistung                             | kW                |
| $P_Z$          | Leistung am Zughaken                                                  | kW                |
| $R$            | Gleisbogenradius (Kontext: Streckenwiderstand)                        | m                 |
| $T$            | Gesamtfahrzeit                                                        | s                 |
| $T_R$          | Reaktionszeit (Kontext: Bremsungen)                                   | s                 |
| $T_S$          | Schwellzeit (Kontext: Bremskraftentwicklung)                          | s                 |
| $V$            | Volumen                                                               | m <sup>3</sup>    |
| $W_B$          | Bremsarbeit am Treibradumfang                                         | kJ bzw. kWh       |
| $W_{mech}$     | mechanische Arbeit                                                    | kJ bzw. kWh       |
| $W_S$          | wegbezogener Energiebedarf                                            | kJ/km bzw. kWh/km |
| $W_T$          | am Treibradumfang verrichtete Arbeit                                  | kJ bzw. kWh       |

Kleinbuchstaben

| Größe        | Benennung                                         | Einheit          |
|--------------|---------------------------------------------------|------------------|
| $a$          | Beschleunigung allgemein (siehe auch $\ddot{x}$ ) | m/s <sup>2</sup> |
| $c_W$        | Luftwiderstandsbeiwert                            | 1                |
| $f_{WF0}$    | spezifischer Grundwiderstand                      | 1                |
| $f_{WF0,Gl}$ | spezifischer Gleitwiderstand                      | 1                |
| $f_{WF0,La}$ | spezifischer Lagerwiderstand                      | 1                |
| $f_{WF0,Ro}$ | spezifischer Rollwiderstand                       | 1                |
| $f_{WS}$     | spezifischer Streckenwiderstand                   | 1                |
| $f_{WSB}$    | spezifischer (Gleis-)Bogenwiderstand              | 1                |
| $f_{WSI}$    | spezifischer Längsneigungswiderstand              | 1                |
| $f_{WSW}$    | spezifischer Weichenwiderstand                    | 1                |
| $g$          | Erdbeschleunigung (9,81 m/s <sup>2</sup> )        | m/s <sup>2</sup> |

(Fortsetzung)

(Fortsetzung)

| Kleinbuchstaben |                                                                                   |                   |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Größe           | Benennung                                                                         | Einheit           |
| $i$             | Streckenlängsneigung                                                              | ‰                 |
| $i$             | Übersetzungsverhältnis eines Getriebes (Symbol doppelt belegt, Kontext beachten!) | 1                 |
| $l_T$           | Triebfahrzeuglänge                                                                | m                 |
| $l_W$           | Wagenzuglänge                                                                     | m                 |
| $l_Z$           | Zuglänge                                                                          | m                 |
| $m$             | Fahrzeugmasse                                                                     | t                 |
| $m_e$           | fahrdynamisch äquivalente Masse                                                   | t                 |
| $m_R$           | Fahrzeugmasse, die auf den angetriebenen Radsätzen ruht                           | t                 |
| $m_{RS}$        | Radsatzfahrmasse                                                                  | t                 |
| $m_T$           | Triebfahrzeugmasse                                                                | t                 |
| $m_W$           | Wagenzugmasse                                                                     | t                 |
| $m_Z$           | Zugmasse                                                                          | t                 |
| $n$             | Drehzahl                                                                          | min <sup>-1</sup> |
| $p$             | Druck                                                                             | bar               |
| $p_C$           | Bremszylinderdruck                                                                | bar               |
| $r$             | Rad-Radius allg.                                                                  | m                 |
| $s$             | Weg (allgemein)                                                                   | m                 |
| $s_A$           | während des Fahrzeugauslaufs zurückgelegter Weg                                   | m                 |
| $s_B$           | Bremsweg                                                                          | m                 |
| $s_{B,E}$       | mit voll entwickelter Bremsverzögerung zurückgelegter Weg                         | m                 |
| $s_H$           | Wegdifferenz zwischen zwei Halten (Haltestellenabstand)                           | m                 |
| $s_U$           | ungebremst zurückgelegter Weg                                                     | m                 |
| $t$             | Zeit                                                                              | s                 |
| $t_A$           | Ansprechzeit (Kontext: Bremskraftentwicklung)                                     | s                 |
| $t_B$           | Bremszeit                                                                         | s                 |
| $v$             | Fahrzeuggeschwindigkeit                                                           | km/h              |
| $v_0$           | (Brems-)Ausgangsgeschwindigkeit zum Zeitpunkt x                                   | m/s               |
| $v_{\min,dd}$   | Minstdauerfahr Geschwindigkeit                                                    | km/h              |
| $\ddot{x}$      | Beschleunigung in oder entgegen der Bewegungsrichtung                             | -                 |
| $z$             | Anzahl im Allgemeinen                                                             | -                 |
| $z_{Bs}$        | Anzahl von Brems scheiben (in einem Zug)                                          | -                 |

(Fortsetzung)

(Fortsetzung)

| Kleinbuchstaben |                                                                        |         |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------|---------|
| Größe           | Benennung                                                              | Einheit |
| $z_F$           | Anzahl der Fahrzeuge (Zugverband) oder Fahrzeugteile (Gliederfahrzeug) | -       |
| $z_L$           | Anzahl der Lokomotiven im Zugverband                                   | -       |
| $z_{RS}$        | Anzahl der Radsätze                                                    | -       |
| $z_{RS,T}$      | Anzahl der angetriebenen Radsätze                                      | -       |
| $z_W$           | Anzahl von Wagen (in einem Zug)                                        | -       |

Griechische Symbole

| Größe       | Benennung                                                                                  | Einheit           |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| $\alpha$    | konstanter Koeffizient empirischer Gleichungen für den spezifischen Wagenzugwiderstand     | 1                 |
| $\beta$     | linearer Koeffizient empirischer Gleichungen für den spezifischen Wagenzugwiderstand       | 1                 |
| $\eta$      | Wirkungsgrad                                                                               | 1                 |
| $\gamma$    | quadratischer Koeffizient empirischer Gleichungen für den spezifischen Wagenzugwiderstand  | 1                 |
| $\lambda$   | Leistungszahl von hydrodynamischen Leistungsübertragungselementen                          | 1                 |
| $\lambda$   | Bremshundertstel ( <i>Kontext: Bremsbewertung und betriebliche Bremsberechnung</i> )       | %                 |
| $\mu$       | Drehmomentenwandlung in hydrodynamischen Wandlern ( <i>Kontext: Leistungsübertragung</i> ) | 1                 |
| $\mu$       | Reibwert ( <i>Kontext: Bremskräfte</i> )                                                   | 1                 |
| $\mu_{Bel}$ | Bremsbelagreibwert (Scheibenbremse)                                                        | 1                 |
| $\mu_K$     | Bremssohlenreibwert (Klotzbremse)                                                          | 1                 |
| $\nu$       | Drehzahlverhältnis von Turbinen- und Pumpenrad in hydrodynamischen Kreisläufen             | 1                 |
| $\rho_L$    | Luftdichte                                                                                 | kg/m <sup>3</sup> |
| $\tau$      | Kraftschlussbeiwert (Rad-Schiene-Kontakt)                                                  | 1                 |
| $\tau$      | Entwicklungszeit ( <i>Kontext: Druckluftbremse</i> )                                       | s                 |
| $\theta$    | Temperatur allgemein                                                                       | °C bzw. K         |
| $\xi$       | fahrdynamischer Massenfaktor                                                               | 1                 |
| $\xi_T$     | fahrdynamischer Massenfaktor von Triebfahrzeugen                                           | 1                 |

(Fortsetzung)

(Fortsetzung)

| Größe   | Benennung                              | Einheit |
|---------|----------------------------------------|---------|
| $\xi_W$ | fahrdynamischer Massenfaktor von Wagen | 1       |
| $\xi_Z$ | fahrdynamischer Massenfaktor von Zügen | 1       |

## Indizes

| Index | Bedeutung                                  |
|-------|--------------------------------------------|
| abgef | abgefahren (im Sinne von verschlissen)     |
| bel   | ein beladenes Fahrzeug betreffend          |
| DAM   | eine Drehstromasynchronmaschine betreffend |
| DM    | einen Dieselmotor betreffend               |
| eff   | effektiv                                   |
| leer  | ein leeres Fahrzeug betreffend             |
| max   | maximal                                    |
| min   | minimal                                    |
| ref   | Referenz-                                  |
| soll  | einen Sollwert betreffend                  |
| Tfz   | ein Triebfahrzeug betreffend               |
| zul   | zulässig                                   |

## Abkürzungen

| Abkürzung | Bedeutung                                                                                          |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AG        | Aktiengesellschaft                                                                                 |
| AGV       | Autorail à Grande Vitesse (frz. für „Triebzug von hoher Geschwindigkeit“)                          |
| A-Wagen   | Wagen zur Personenbeförderung 1. Klasse                                                            |
| AB-Wagen  | Wagen zur Personenbeförderung 1. und 2. Klasse                                                     |
| ABB       | Asea Brown Boveri AG, Zürich                                                                       |
| B-Wagen   | Wagen zur Personenbeförderung 2. Klasse                                                            |
| BBC       | Brown Boveri & Cie., Baden                                                                         |
| BOStrab   | Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (kurz: Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung) |

(Fortsetzung)

(Fortsetzung)

| Abkürzung | Bedeutung                                                                                        |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| BLS       | Bern-Lötschberg-Simplon Bahn AG, Bern                                                            |
| BR        | Baureihe oder British Rail (Kontext beachten)                                                    |
| BS-Wagen  | Wagen zur Personenbeförderung 2. Klasse mit Serviceabteil                                        |
| CAF       | Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles S.A., Beasain (spanischer Schienenfahrzeughersteller) |
| ČD        | České Dráhy a. s., Praha (staatliche tschechische Eisenbahngesellschaft)                         |
| CP        | Comboios de Portugal, Lissabon (staatliches portugiesisches Eisenbahnunternehmen)                |
| DAT       | Drehstromantriebstechnik                                                                         |
| DAM       | Drehstromasynchronmaschine                                                                       |
| DB        | Deutsche Bundesbahn, Frankfurt a. M. (Staatsbahn der BRD, 1994 in der DB AG aufgegangen)         |
| DB (AG)   | Deutsche Bahn (Aktiengesellschaft), Berlin                                                       |
| DE, de    | Diesel-elektrisch (bezogen auf den Antrieb von Schienenfahrzeugen)                               |
| DIN       | Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin                                                     |
| DM        | Dieselmotor                                                                                      |
| DR        | Deutsche Reichsbahn (Staatsbahn der DDR, 1994 in der DB AG aufgegangen)                          |
| DÜWAG     | Düsseldorfer Waggonfabrik (1981–1999 im Verbund mit der Uerdinger Waggon-Fabrik)                 |
| DVB       | Dresdner Verkehrsbetriebe AG                                                                     |
| EBO       | Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung                                                               |
| EMD       | Electro-Motive Diesel Inc., Muncie (US) – US-amerikanischer Hersteller von Diesellokomotiven     |
| EN        | Europäische Norm                                                                                 |
| ESF       | Energiesparende Fahrweise                                                                        |
| ETCS      | Europäisches Zugsicherungssystem (European Train Control System)                                 |
| ETR       | Elettrotreno Rapido (ital. = elektrischer Hochgeschwindigkeitszug)                               |
| FEL       | Fahrzeitermittlungslinie                                                                         |
| FS        | Ferrovie dello Stato Italiane (italienische Staatsbahn), Rom                                     |
| ggf.      | gegebenenfalls                                                                                   |
| Gz        | Güterzug                                                                                         |
| HGV       | Hochgeschwindigkeitsverkehr                                                                      |
| HST       | High Speed Train (IC 125-Zug von British Rail)                                                   |
| IC        | InterCity (Zugkategorie des hochwertigen Fernverkehrs)                                           |
| ICE       | InterCity Express (Hochgeschwindigkeitszüge der Deutschen Bahn AG)                               |

(Fortsetzung)

(Fortsetzung)

| Abkürzung | Bedeutung                                                                                                     |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| JDG       | Jakobs-Drehgestell (Drehgestell, auf dem sich die Wagenkastenenden benachbarter Wagen abstützen)              |
| KTX       | Korea Train eXpress (Hochgeschwindigkeitszüge in Südkorea)                                                    |
| LDG       | Laufdrehgestell (Drehgestell ohne Antrieb)                                                                    |
| LEW       | VEB Lokomotivbau Elektrotechnische Werke „Hans Beimler“, Hennigsdorf (ein Schienenfahrzeughersteller der DDR) |
| LTS       | (Diesel-)Lokomotivfabrik Luhansk (früher: Diesellokomotivfabrik „Oktoberrevolution“ Woroschilowgrad)          |
| Lü        | Leistungsübertragung(sanlage)                                                                                 |
| LüK       | Länge über Kupplungen (übliche Angabe bei Triebzügen)                                                         |
| LüP       | Länge über Puffer                                                                                             |
| MaK       | Maschinenbau Kiel                                                                                             |
| MVG       | Münchner Verkehrsgesellschaft mbH                                                                             |
| MW        | Mittelwagen                                                                                                   |
| NS        | Nederlands Spoorwegen (staatliche Niederländische Eisenbahngesellschaft), Utrecht                             |
| NTV       | Nuovo Trasporto Viaggiatori, Rom (private italienische Eisenbahngesellschaft)                                 |
| NV        | Nahverkehr                                                                                                    |
| ODEG      | Ostdeutsche Eisenbahn GmbH, Parchim                                                                           |
| ÖBB       | Österreichische Bundesbahn, Wien                                                                              |
| RB        | Regionalbahn                                                                                                  |
| RE        | Regionalexpress                                                                                               |
| Renfe     | Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles (staatliches spanisches Eisenbahnunternehmen), Madrid             |
| RhB       | Rhätische Bahn AG, Chur                                                                                       |
| RiL       | Richtlinie der DB Netz AG (Teil des nationalen Regelwerkes der Eisenbahn in Deutschland)                      |
| RSG       | Radsatzgetriebe                                                                                               |
| SB        | Schnellbremsung                                                                                               |
| SBB       | Schweizerische Bundesbahnen AG, Bern                                                                          |
| SG        | Strömungsgetriebe (= hydrodynamisches Getriebe = Turbogetriebe = Föttingergetriebe)                           |
| SLM       | Schweizerische Lokomotiv- und Maschinenfabrik, Winterthur                                                     |
| SNCB      | Société Nationale des Chemins de Fer Belges (Belgische Staatsbahn Gesellschaft), Saint-Gilles                 |

(Fortsetzung)

(Fortsetzung)

| Abkürzung | Bedeutung                                                                                    |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| SNCF      | Société Nationale des Chemins de Fer Française (Französische Staatsbahn Gesellschaft), Paris |
| SO        | Schienenoberkante                                                                            |
| SPNV      | Schienenpersonennahverkehr                                                                   |
| TDG       | Triebdrehgestell (Drehgestell mit Antrieb)                                                   |
| TGV       | Train à Grande Vitesse (Hochgeschwindigkeitszüge der französischen Staatsbahn)               |
| TK        | Triebkopf                                                                                    |
| TR Br     | Technische Regeln für die Bemessung und Prüfung der Bremsen von Fahrzeugen nach BOStrab      |
| u. a.     | unter anderem                                                                                |
| UIC       | Union internationale des chemins de fer (Internationaler Eisenbahnverband), Paris            |
| v. a.     | vor allem                                                                                    |
| VB        | Vollbremsung                                                                                 |
| VEB       | Volkseigener Betrieb (Unternehmensform in der DDR)                                           |
| WR-Wagen  | Wagen zur Personenbeförderung mit Restaurantbereich (Speisewagen)                            |
| ZEV       | Zentrale Energieversorgung (von Wagenzügen des Personenverkehrs)                             |
| ZDS       | Zug-Druck-Stangen (Anlenkung von Drehgestellen an den Fahrzeugkasten)                        |