

1	Definition und Einordnung des Lehrgebietes	1
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
2	Grundlagen der Fahrdynamik	7
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
3	Fahrwiderstandskräfte	43
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 Stadtbahnfahrzeugen	123
3.4	Streckenwiderstandskräfte	132
3.4.1	Charakterisierung und Einordnung des 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
4	Antriebskräfte	153
4.1	Bedeutung der Antriebskräfte in der Fahrdynamik	153
4.2	Zugkraftcharakteristik	154
4.3	Zugkrafterzeugung 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	Zugkrafterzeugung an der Leistungsgrenze	173
4.4.1	Antriebskonfigurationen	173
4.4.2	Zugkraftcharakteristik von Dieseltriebfahrzeugen	176
4.4.3	Zugkraftcharakteristik von Elektrotriebfahrzeugen	212
4.5	Verständnisfragen	227
5	Fahrdynamische Charakteristiken	233
5.1	Das Traktionsvermögen von Triebfahrzeugen	233
5.2	Steigfähigkeit	235
5.3	Beschleunigungsvermögen	237
5.4	Schleppvermögen	239
5.5	Lokomotiv-Kenndiagramm	242

5.6	Grenzlasten	250
5.7	Verständnisfragen	252
6	Triebfahrzeugauslegung auf fahrdynamischer Basis	253
6.1	Leistungsauslegung auf Basis von Zugförderprogrammen	253
6.1.1	Grundlagen der fahrdynamisch-basierten 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 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
7	Bremskräfte	289
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 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 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 Bremsberechnung	378
7.14	Verständnisfragen	380
8	Energiebedarf von Zugfahrten	383
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 Treibradararbeit zur Traktionsenergie	396
8.3.2	Triebfahrzeug-Kennlinienfelder	397
8.3.3	Triebfahrzeug-Leistungs- und Verbrauchstafeln (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
9	Fahrzeitermittlung	425
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

Inhaltsverzeichnis	XIII
9.4 Integrationsverfahren	440
9.5 Verständnisfragen	446
A Fahrdynamische Massenfaktoren spezifischer Fahrzeuge	447
B Gleichungen zum spezifischen Bogenwiderstand	451
C Spannungsversorgung von Eisenbahnen in Europa	455
D Bremsgestängewirkungsgrad	457
Literatur	459