


Der Ingenieurbau

- **Fahrdynamik**
- **Verkehrsfluß**

Der
Ingenieurbau
Fahrdynamik
Verkehrsfluß
Ernst & Sohn
Verlag

 Ernst & Sohn

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Verzeichnis der Verfasser

Fahrdynamik

1	Definition und Abgrenzung der Fahrdynamik	1
2	Die fahrdynamische Grundgleichung	2
2.1	Die Beschleunigungsgleichung	2
2.2	Die Geschwindigkeitsgleichung	2
2.3	Die Weggleichung	2
3	Die Fahrwiderstände	3
3.1	Der Rollwiderstand	3
3.1.1	Der Widerstand beim Abrollen des Rades auf der Schiene	3
3.1.2	Der Lagerreibungswiderstand	4
3.1.3	Die rechnerische Bestimmung des Rollwiderstandes in der Praxis	5
3.1.4	Die Bestimmung des Rollwiderstandes durch Versuch	6
3.2	Der Dämpfungswiderstand	7
3.3	Der Luftwiderstand von Brems scheiben	7
3.4	Der Luftwiderstand	8
3.4.1	Die allgemeine Luftwiderstandsformel	8
3.4.2	Die Bestimmung des Luftwiderstands durch Auslaufversuch	9
3.4.3	Der Luftwiderstand bei Seitenwind	10
3.4.4	Der Luftwiderstand bei Tunnelfahrt	11
3.5	Der Steigungswiderstand	12
3.6	Der Bogenwiderstand	13
3.7	Zusammenfassung der Fahrwiderstände	14
3.8	Die Problematik zwei- und dreigliedriger Widerstandsformeln	15
4	Der Massenfaktor	16
4.1	Definition des Massenfaktors	16
4.2	Die Bestimmung des Massenfaktors eines Fahrzeugs	16
4.3	Die Bestimmung des Massenfaktors von Zügen	17
4.4	Die Bestimmung des Massenfaktors durch Auslaufversuch	17
5	Der Kraftschluß zwischen Rad und Schiene	18
5.1	Grundsätzliche Betrachtung	18
5.2	Die Abhängigkeit des Kraftschlußbeiwertes vom Schlupf	20
5.3	Die Abhängigkeit des Kraftschlusses von der Fahrgeschwindigkeit	21
5.4	Die Abhängigkeit des Kraftschlusses von der Fahrzeugkonstruktion	22
5.5	Zusammenfassende Bemerkungen zum Kraftschluß	22
6	Die Bestimmung von Zugkraft, Leistung und Energieverbrauch	23
6.1	Die Zugkraft	23
6.2	Die Leistung	23
6.3	Die Energie	25

7	Die Fahrdynamik der Fahrzeugbewegungen	26
7.1	Die Fahrshaulinie	26
7.2	Die Beschleunigungsphase	27
7.2.1	Anfahrt mit konstanter Beschleunigung	27
7.2.2	Beschleunigung mit konstanter Zugkraft	28
7.2.3	Beschleunigung mit konstanter Leistung	28
7.2.4	Der Energieverbrauch während der Beschleunigungsphase	29
7.3	Die Beharrungsphase	30
7.3.1	Die Bestimmung von Weg und Zeit	30
7.3.2	Die Bestimmung des Energieverbrauchs	30
7.4	Die Ausrollphase	30
8	Das dynamische Verhalten von Eisenbahnbremsen	30
8.1	Die Druckluftbremse	31
8.1.1	Das Reibwertverhalten der bremskrafterzeugenden Elemente	31
8.1.1.1	Das Reibwertverhalten der Klotzbremse	31
8.1.1.2	Das Reibwertverhalten der Scheibenbremse	33
8.2	Das dynamische Verhalten der pneumatischen Bremse	37
8.2.1	Die Wirkungsweise der indirekt wirkenden Druckluftbremse bei Eisenbahnfahrzeugen	37
8.2.2	Das dynamische Verhalten des Bremszylinderdruckes p_C (vereinfachte Darstellung)	38
8.2.3	Das dynamische Verhalten des Hauptluftleitungsdruckes p_L bei Einzelfahrzeugen (vereinfachte Darstellung)	39
8.2.4	Das Verhalten des Bremszylinderdruckes bei langsam abfallenden Hauptluftleitungsdruck langer Züge (vereinfachte Darstellung)	40
8.2.5	Das Differentialgleichungssystem der langen Luftleitung	42
8.2.5.1	Die Differentialgleichungen für den Druck- und Geschwindigkeits- verlauf in der Hauptluftleitung L abhängig von der Stelle x im Zuge und der Zeit	42
8.2.5.2	Die Bestimmung des Dämpfungsmaßes δ	44
8.2.5.3	Die Bestimmung der Rohrreibungszahl λ	44
8.2.5.4	Die Bestimmung der Widerstandszahl ζ für die Luftleitung	45
8.2.6	Die näherungsweise Bestimmung der Druckverhältnisse in der langen Luftleitung unter Berücksichtigung von Versuchsergebnissen	46
8.2.6.1	Theoretische Voraussetzungen	46
8.2.6.2	Rechenbeispiel für einen Güterzug	49
8.2.6.3	Auswertung von Messungen der Absenkezeit $t_{3,5}$ an verschiedenen Güterzügen	50
8.2.6.4	Auswertung von Messungen der Absenkezeit $t_{3,5}$ an Reisezügen	51
8.3	Die hydrodynamische Bremse	53
8.3.1	Die Wirkungsweise der hydrodynamischen Bremse	53
8.3.2	Die Charakteristik der H -Bremse	54
8.4	Die Generatorbremse	55
8.4.1	Die fremderregte Widerstandsbremse	55
8.4.2	Die Drehstrombremse	59
8.5	Die Magnetschienenbremse	61
8.6	Die Wirbelstrombremse	62
8.7	Die Bremswegberechnung und das Problem der Bremsbewertung von Eisenbahnfahrzeugen	65
8.7.1	Die Mindener Formel	65

8.7.2	Die Münchener Formel	67
8.7.3	Die Bremsbewertung von Eisenbahnzügen nach herkömmlichen Verfahren	68
8.7.4	Die Bremsbewertung nach mathematisch-physikalischen Gesichtspunkten	70
8.7.5	Weitergehende Vorschläge für die Behandlung fahrdynamischer Probleme	74
9	Rechenbeispiel	74
10	Literatur	80

Verkehrsfluß auf der Strecke

1	Bewegung des Einzelfahrzeugs	81
1.1	Kinematik des Einzelfahrzeugs	81
1.2	Statistik der Bewegung des Einzelfahrzeugs	82
2	Bewegung mehrerer Fahrzeuge	84
2.1	Lokale und momentane Beobachtung von Fahrzeugen	84
2.2	Belegung	86
2.3	Geschwindigkeitsverteilungen	87
2.3.1	Geschwindigkeitsverteilungen aus der Sicht eines stationären Beobachters	87
2.3.2	Geschwindigkeitsverteilungen aus der Sicht eines sich bewegenden Beobachters	88
2.4	Abstandsverteilungen	89
3	Zustandsformen des Verkehrsablaufs auf Straßen	90
3.1	Verkehrszustände, Fundamentaldiagramm	90
3.2	Makroskopische Verkehrsflußmodelle	92
3.3	Mikroskopische Modelle	96
4	Literatur	98

Verkehrsablauf an Knotenpunkten

1	Warteschlangentheorie	101
1.1	Definition eines Warteschlangensystems	102
1.2	Zusammenhänge mit genereller Gültigkeit	103
1.3	Lösungen für Standard-Systeme	105
2	Instationäre Warteschlangensysteme	109
2.1	Zeitabhängige Lösungen für $\rho < 1$	110
2.2	Näherungslösungen	112
3	Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlagen	116
3.1	Maximale Leistungsfähigkeit	116
3.2	Mittlere Wartezeit	120
3.3	Praktisches Berechnungsverfahren	121
3.4	Kreisverkehr	127
4	Knotenpunkte mit Lichtsignalanlagen	128
4.1	Wartezeiten und Rückstau bei stationärem Zufluß	130
4.2	Wartezeit und Rückstau bei instationärem Zufluß	137
4.3	Geometrie des Knotenpunktes und deren Aufbereitung für die Planung von Lichtsignalanlagen	139
4.4	Berechnung der Umlaufzeit und der Grünzeiten	141
4.5	Fußgänger an Lichtsignalanlagen	145
4.6	Koordinierung von Lichtsignalanlagen	146

5	Warteschlangenmodelle bei verschiedenen Verkehrssystemen	147
5.1	Fußgänger	147
5.2	Parkplatz	148
5.3	Start- und Landebahn eines Flugplatzes	150
5.4	Schleusen	151
5.5	Warteschlangenmodelle für den fließenden Verkehr	152
6	Zusammenfassung	153
7	Literatur	154
Stichwortverzeichnis		157