


Der Ingenieurbau

- **Fahrdynamik**
- **Verkehrsfluß**

Der
Ingenieurbau
Fahrdynamik
Verkehrsfluß
Ernst & Sohn
Verlag
Berlin
1998

 **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 Fahrchaulinie | 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 |