

Diskussion einiger Aspekte der Verkehrsentwicklung in Deutschland

Mit zunehmender Vernetzung wirtschaftlicher Produktionseinheiten steigt der Bedarf an Güter- und Personentransportkapazitäten. Diese Steigerung führt insbesondere in einem hochtechnologisierten Land wie der Bundesrepublik Deutschland zu einer Erhöhung des Verkehrsaufkommens bei allen Verkehrsträgern. Sowohl in den zurückgelegten Personenkilometern (Abb. 1), als auch beim Güterverkehr (in Tonnen-Km, Abb 2) ist eine kontinuierliche Steigerung der Verkehrsleistung zu sehen [1, 2]. Das Wachstum im Personenverkehr wird zum größten Teil

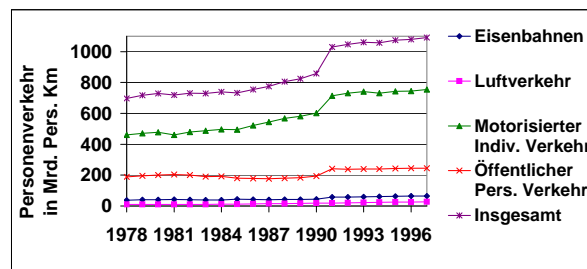


Abbildung 1: Entwicklung des Personenverkehrs seit 1978 in Milliarden Personenkilometer geschlüsselt nach Verkehrsträgern. Ab 1991 sind die Daten einschließlich der neuen Bundesländer zu verstehen. Der Öffentliche Personenverkehr enthält auch nichtstraßengebundene Verkehrsträger, z.B. S-Bahnen [BFV, 1998].

durch eine Steigerung im motorisierten Individualverkehr getragen, der öffentliche Personenverkehr besitzt einen nahezu konstanten Beitrag. Alle anderen Verkehrsträger sind in Ihrem Beitrag gegenüber den beiden genannten vernachlässigbar.

Noch dramatischer ist das Wachstum der Verkehrsleistung im Güterverkehrsbereich zu sehen (Abb. 2). Allein in der Zeit von 1996 bis 1998 ist eine ca. 30% Steigerung zu beobachten, die nahezu ausschließlich vom Straßengüterverkehr aufgefangen wird. Die Wichtigkeit des Straßenverkehrs zeigen auch die Abstände der dazugehörigen Kurven zu den anderen Verkehrsträgern. So wird die Personenverkehrsleistung zu 81,8% (Stand 1997) durch den Straßenverkehr getragen, die Güterverkehrsleistung zu ca. 69%.

Diese Zahlen zeigen die besondere Bedeutung des Straßenverkehrs für die Volkswirtschaft der Bundesrepublik Deutschland auf. Ein Großteil des Straßenverkehrs wird von Personenkraftwagen verursacht. Abb. 3 zeigt die Entwicklung des Bestandes seit 1993 im Vergleich zum Lastkraftwagen [2]. Der gesamte Fahrzeugbestand hat in der Zeit von 1993 bis 1998 um mehr als 10% zugenommen. 1997 kommen auf 2 Einwohner ein PKW. Diese Dichte ist auch im europäischen Vergleich bemerkenswert (Abb. 4). Die Nachbarländer der Bundesrepublik Deutschland haben ähnliche Fahrzeugbestandsdichten, so daß insbesondere in der Urlaubszeit

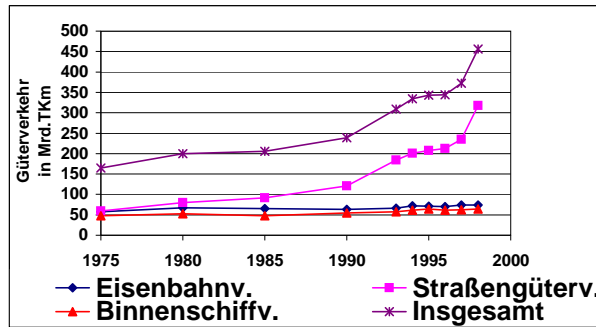


Abbildung 2: Entwicklung des Güterverkehrs seit 1975 in Milliarden Tonnenkilometer geschlüsselt nach Verkehrsträgern. Ab 1991 sind die Daten einschließlich der neuen Bundesländer zu verstehen [BMW I, 1999].

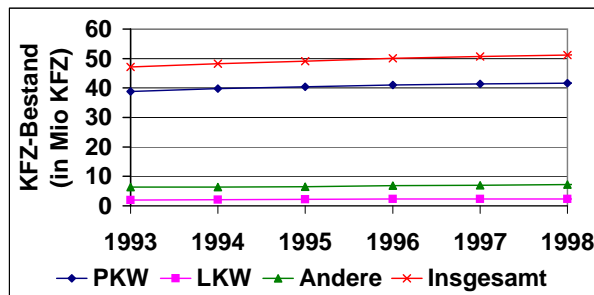


Abbildung 3: Entwicklung des Bestandes an Kraftfahrzeugen nach Fahrzeugarten [BMW I, 1999].

die zusätzliche Belastung des Straßensystems durch Transitverkehr nicht vernachlässigt werden darf. Das Straßennetz hat sich in den letzten Jahren in Bezug auf seine Gesamtlänge von 231 000 Km (1998, davon 11 500 Km Autobahn) nur unwesentlich verlängert (Abb. 5). Dagegen hat die Fahrleistung auf diesem Straßennetz um den Faktor 1,8 im Zeitraum von 1975 bis 1997 zugenommen (Abb. 6). Der zugenommene Straßenfernverkehr macht sich durch einen überdurchschnittlichen Fahrleistungszunahmefaktor für die Autobahnen von 2,5 bemerkbar. Ein Großteil der Fahrleistung wird von Personenkraftwagen erbracht. 1996 nutzten 77,5% der PKW-Fahrer ihr Fahrzeug beruflich, Dienstreisen wurden zu 84%, der Einkauf zu 71%, die Freizeitgestaltung zu 80% und der Urlaub zu 67% mit dem PKW erledigt [1].

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß das vorhandene Straßenverkehrsnetz eine immer größer werdende Leistung zu erbringen hat. Dies zeigt sich insbesondere im Autobahnbereich, wo 1996 die mittlere Auslastung bei 46600 Fahrzeugen in 24 Stunden für die alten Bundesländer und 33100 Fahrzeugen in 24 Stunden für die neuen Bundesländer lag [3]. Der Spitzenwert von 135000 Fahrzeugen in 24 Stunden auf der A44 (Ruhrschnellweg) zeigt die Schwankungsbreite dieser Mittelwerte [4]. Diese Zahlen gehen einher mit Rekordstaulängen von 50 Km bis zu 140 Km [5, 6]. Um trotzdem noch einen geregelten Verkehrsablauf zu gewährleisten wurden unterschiedlichste Maßnahmen ergriffen. So sind viele Kreuzungen auf Signalanlagensteuerung umgestellt worden, auf vielen Autobahnabschnitten wurden Geschwindigkeitsbeschränkungen eingeführt, elektronische Verkehrsleitsysteme werden entwickelt und eingesetzt und nicht zuletzt findet eine zunehmende polizeiliche Überwachung statt.

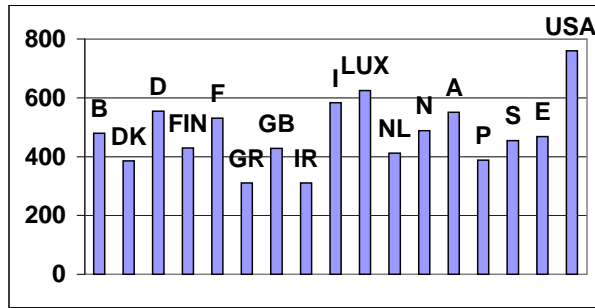


Abbildung 4: Internationaler Vergleich der Kraftwagendichte 1997 in KFZ pro 1000 Einwohner [BMW I, 1999].

Die hohe Verkehrsstärke – dies ist der Fluß von Fahrzeugen pro Zeit – führt zu hohen Verkehrsdichten. Für den einzelnen Fahrer ist das Kolonnenfahren bei teilweise hohen Geschwindigkeiten zur Normalität geworden. Abb. 7 zeigt wie die unterschiedlichen Verkehrsdichten die Geschwindigkeit und die Verkehrsstärke beeinflussen. Während auf den linken Spuren ein freier, durch die Entscheidungen der einzelnen Fahrer geprägte Verkehrsstärke existiert, zeigen die rechten Spuren eine hohe Verkehrsdichte, welche zu einer Stärke führen, der sich nicht durch einzelne freie Fahrerentscheidungen erklären läßt ¹. Schon frühzeitig wurde versucht, den Verkehrsablauf in Güteklassen einzuteilen [8]. So wurden in den USA 6 Klassen definiert, die sich an Geschwindigkeiten und Stärken des Fahrzeugstroms auf jeder Spur eines Highways orientiert. Während man auf den linken Spuren in Abb. 7 von der Güteklasse A (geringe Verkehrsstärke, fast freie Wahl der Fahrgeschwindigkeit möglich) ausgehen kann, zeigen die rechten beiden Highwayzuläufe eine hohe bis sehr hohe Verkehrsdichte bei geringen Geschwindigkeiten, welche durch die Klassen E bzw. F (instabiler Verkehrsfluß bis gebundener Verkehrsfluß bei niedrigen Geschwindigkeiten. Stau aus dem Nichts ist möglich) charakterisiert wird.

Verkehrsstärkemessungen auf Autobahnen erhärten die Vermutung, daß kollektive Effekte, bei höheren Verkehrsdichten eine nicht zu vernachlässigende Rolle spielen. In der neuern Literatur werden daher Begriffe wie 'Stop-and-Go'-Wellen, 'Staus aus dem Nichts', 'synchronisierter Verkehr', 'Phasenübergänge' u.v.m. zum Teil kontrovers diskutiert [9, 10, 11, 12, 13]. Da die theoretische Beschreibung kollektiver Transportprozesse insbesondere in den physikalischen Wissenschaften fortgeschritten ist, werden von einigen Autoren diese Verfahren auf den Verkehrsfluß angewendet; eine Übersicht dazu wird in [10] gegeben.

Zur Beschreibung von Verkehrsflußcharakteristika werden Stärke- und Dichtegrößen, sowie Mittelwerte der Einzelfahrzeuggrößen herangezogen und messtechnisch ausgewertet. Dabei ergeben sich prinzipielle Zusammenhänge zwischen den unterschiedlichsten Größen, die unabhängig vom Fahrerverhalten sind. Als eines der wichtigsten Zusammenhänge ist das sogenannte Fundamentaldiagramm des Verkehrsflusses, in dem Verkehrsdichte, mittlere Geschwindigkeit und Verkehrsstärke in Relation zueinander gesetzt wird bekannt. Obgleich mannigfaltig experimentell bestätigt, ist seine Interpretation immer noch nicht abgeschlossen.

Zusammenhänge zwischen quantitativen Größen geben i.a. Anlaß zur Entwicklung theoretischer Begründungsmodelle. In den letzten Jahrzehnten wurden so unterschiedliche Modelle

¹Natürlich kann jeder Fahrer die Verkehrsstärke durch seine Entscheidung zum Erliegen bringen (Unfall, Stoppen). Dies würde aber seiner grundsätzlichen Intention, das Fahrziel in möglichst kurzer Fahrzeit zu erreichen [7] zuwiderlaufen.

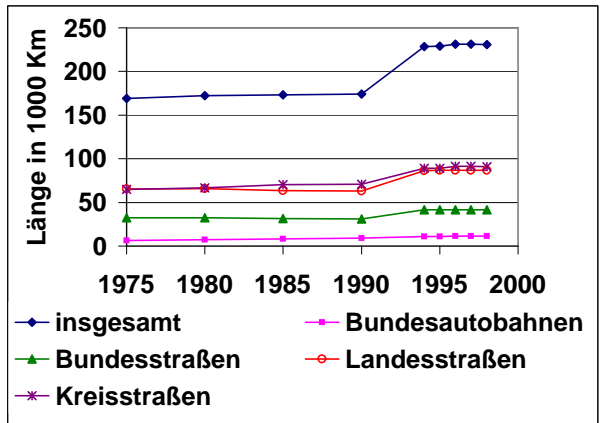


Abbildung 5: Länge des Straßensystems in 1000 Km. Ab 1993 sind die neuen Bundesländer enthalten. Dies hat i.w. Einfluß auf die Gesamtlänge der Kreis- und Landesstraßen [BMWl, 1999].

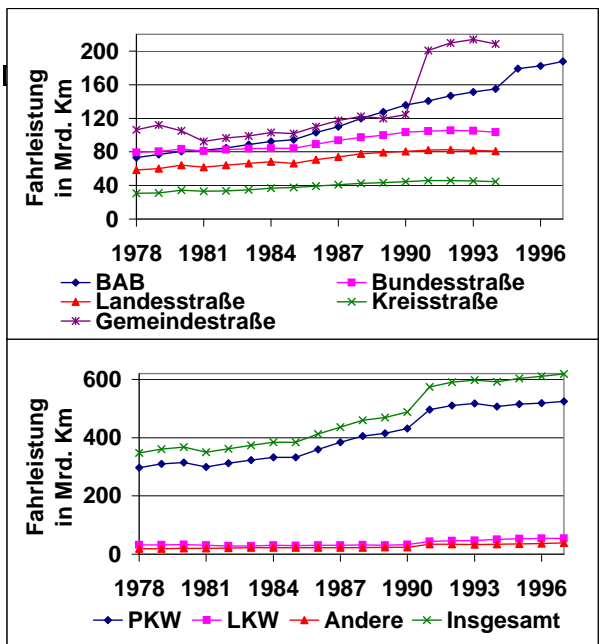


Abbildung 6: Entwicklung der Fahrleistung in Milliarden Km geordnet nach Straßentypen und Fahrzeugtypen. Ab 1991 sind die neuen Bundesländer enthalten [BfV, 1998].



Abbildung 7: Ein Highway in Los Angeles (Quelle unbekannt)

zur Beschreibung des Verkehrsflusses i.b. des Fundamentaldiagrammes entwickelt. Sie lassen sich grob in drei Kategorien einteilen. Mikroskopische Ansätze gehen vom Fahrerverhalten bei der Interaktion mit den benachbarten Fahrzeugen aus und versuchen daraus Flußgrößen zu ermitteln. Derartige Ansätze gibt es seit den Fahrzeugfolgmodellen der 60er Jahre [14, 15] und werden seitdem weiterentwickelt, wobei die Fahrerinteraktion und Reaktion in den Vordergrund gerückt sind [16, 17]. Makroskopische Modelle versuchen einen direkten Zusammenhang differentierbarer Modellflußgrößen i.a. durch Differentialgleichungen herzuleiten. Dieser Ansatz wurde erstmals von [18] durchgeführt und seitdem durch unterschiedlichste Erweiterungen fortgesetzt (s.u.). Ein weiterer Ansatz geht von einer probabilistischen Beschreibung aus, welche erstmals durch [19] erwogen wurde. Dabei sind zwei Entwicklungen zu unterscheiden. Die eine verwendet die Warteschlangentheorie, die andere Mastergleichungen zur Bestimmung einer Verteilungsfunktion aus der dann mittels Momentenbildung die Flußgrößen berechnet werden. Derartige Modelle werden in Anlehnung an die physikalische Transporttheorie auch oftmals als mesoskopisch oder vermittelnd bezeichnet.

Literatur

- [1] BfV. *Verkehr in Zahlen 1998*. Deutscher Verkehrs-Verlag, 1998.
- [2] BMWi. *Wirtschaft in Zahlen 1999*. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, 1999.
- [3] DBT. *Deutscher Bundestag WIB, Sparte Verkehr*, 7, April 1997.
- [4] Spiegel-TV. *Der Ruhrschnellweg*. VOX-Television, 1999.
- [5] Spiegel. *Das mobile Chaos*. 29:68, 1998.
- [6] B. Haschek. *Stauteller-branchen*. *Auto-Motor-Sport*, 10:194, 2000.
- [7] J. G. Wardrop. *Some theoretical aspects of road traffic research*. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, page 325, 1952.

- [8] HCM. Highway capacity manual, special report 87. Technical report, National Research Council, Washington D. C., 1965.
- [9] C. F. Daganzo. *Fundamentals of Transportation and Traffic Operations*. Pergamon, 1997.
- [10] D. Helbing. *Verkehrsdynamik*. Springer, Heidelberg, Berlin, 1997.
- [11] B. S. Kerner. Experimental features of self-organization in traffic flow. *Phys. Rev. Lett.*, 81(17):3797, 1998.
- [12] B. S. Kerner and H. Rehborn. Messungen des Verkehrsflusses: Charakteristische Eigenschaften von Staus auf Autobahnen. *Internationales Verkehrswesen*, 50(5):196, 1998.
- [13] B. S. Kerner. The physics of traffic. *Physics World*, page 25, 1999.
- [14] R. Reuschel. Fahrzeugbewegungen in der Kolonne bei gleichförmig beschleunigtem oder verzögertem Leitfahrzeug. *Zeitschr. Östrr. Ing. und Arch. Ver.*, 95:59–62, 73–77, 1950.
- [15] R. E. Chandler, R. Herman, and E. W. Montroll. Traffic dynamics: studies in car following. *Operations Research*, 6:165, 1958.
- [16] R. Wiedemann. *Simulation des Straßenverkehrsflusses*. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, 1974.
- [17] R. J. Koppa. Human factors. In N. Gartner, C. J. Messer, and A. K. Rathi, editors, *Traffic Flow Theory, Update of Report 165*, chapter 3. TRB Committee A3A11, 1998.
- [18] M. J. Lighthill and G. B. Whitham. On kinematic waves ii. a theory of traffic flow on long crowded roads. *Proc. Royal. Soc.*, 229:317, 1952.
- [19] W. F. Adams. Road traffic considered as a random series. *Journal of the Institute of Civil Engineers, London*, 4, 1936.