

COST 340: Entwicklung des Transitverkehrs-Systems und deren Auswirkung auf die Raumnutzung in der Schweiz

Die Geschwindigkeiten im PW-Verkehr und die Leistungsfähigkeiten von Strassen über den Zeitraum 1950-2000

Alex Erath
Philipp Fröhlich

Arbeitsbericht
Verkehrs- und Raumplanung

183
Februar 2004

Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung 183

Die Geschwindigkeiten im PW-Verkehr und die Leistungsfähigkeiten von Strassen über den Zeitraum 1950-2000

Alex Erath Philipp Fröhlich
IVT IVT
ETH Zürich ETH Zürich
CH-8093 Zürich CH-8093 Zürich

Phone: +41-1 633 31 96
Fax: +41-1 633 30 57
e-Mail: froehlich@ivt.baug.ethz.ch

Februar 2004

Kurzfassung

Ziel dieses Berichts ist es mittlere Geschwindigkeiten sowie Leistungsfähigkeiten und q-v-Funktionen von Strassen für die Jahre 1950-2000 anzugeben. Zunächst werden die Einflussgrössen auf Geschwindigkeit und Leistungsfähigkeit analysiert. In einem zweiten Teil wird die Entwicklung der mittleren Geschwindigkeit anhand von Untersuchungen in den Ländern USA, Deutschland und Schweiz ermittelt. Gleiches geschieht für die Leistungsfähigkeit und q-v-Funktionen. Zum Schluss werden diese Daten zusammen bewertet und ein Ansatz zur Entwicklung der Geschwindigkeiten und der Leistungsfähigkeit für verschiedene Strassentypen in der Schweiz angegeben

Schlagworte

Geschwindigkeit, Schweiz, q-v-Funktion, Leistungsfähigkeit

Zitiervorschlag

Erath, A. und Ph. Fröhlich (2004) Die Geschwindigkeiten im PW-Verkehr und die Leistungsfähigkeiten von Strassen über den Zeitraum 1950-2000, *Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung*, **183**, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich.

Working Papers Traffic and Spatial Planning 183

Velocity of Road Traffic and Capacity of roads for the Period between 1950 and 2000

Alex Erath
IVT
ETH Zürich
CH-8093 Zürich

Philipp Fröhlich
IVT
ETH Zürich
CH-8093 Zürich

Phone: +41-1 633 31 96
Fax: +41-1 633 30 57
e-Mail: froehlich@ivt.baug.ethz.ch

February 2004

Abstract

The goal of the present working paper is to find proper assumptions for mean velocity, capacity and capacity restraint function for roads between 1950 and 2000. At the beginning, the main variables that influence the speed and capacity are analysed. In the second part, the historical development of the mean speed is shown by means of research work conducted in the US, Germany and Switzerland. The same is done for the capacity and the capacity restraint function.

At the end the derived information are compared and assumptions for the development of the speed and capacity of different road types in Switzerland are given.

Keywords

velocity; Switzerland; capacity restraint function; capacity

Preferred citation style

Erath, A. and Ph. Fröhlich (2004) Die Geschwindigkeiten im PW-Verkehr und die Leistungsfähigkeiten von Strassen über den Zeitraum 1950-2000, *Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung*, **183**, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	I
Inhaltsverzeichnis	III
1. Einleitung	1
1.1 Aufgabendefinition, Ziele	1
1.2 Einführung der wichtigsten Begriffe und Abhängigkeiten.....	1
1.3 Darstellung der Messergebnisse	3
1.4 Messmethoden	6
1.5 Schwierigkeiten bei der Untersuchung.....	7
2. Einflussgrößen für Geschwindigkeit und Leistung	8
2.1 Infrastruktur.....	8
2.2 Verkehrsmittel.....	9
2.3 Verkehrsteilnehmer.....	13
2.4 Äussere Einflüsse	15
2.5 Gesetzliche Vorschriften.....	15
2.6 Die Messung unter idealen Bedingungen.....	17
3. Vorgehen bei der Datenermittlung.....	18
4. Entwicklung der mittleren Geschwindigkeit	19
4.1 Geschwindigkeitsverteilung, Abhängigkeiten	19
4.2 Geschwindigkeiten auf Autobahnen 1950-2000.....	20
4.3 Geschwindigkeiten auf Landstrassen 1950-2000	35
4.4 Geschwindigkeiten auf Stadt- und Nebenstrassen	47
5. Zusammenfassung Geschwindigkeiten	48
6. Entwicklung der Leistungsfähigkeit.....	52
6.1 Begriff der Leistungsfähigkeit	52
6.2 Entwicklung der Leistungsfähigkeit von Autobahnen 1950-2000.....	57
6.3 Entwicklung der Leistungsfähigkeit von Landstrassen 1950-2000	67
6.4 Stadtstrassen.....	73
7. Zusammenfassung Leistungsfähigkeit	75
7.1 Autobahnen	75
7.2 Landstrassen	76
8. Geschwindigkeit und Steigung	77
8.1 Literaturanalyse	77

8.2	Ergebnisse	78
9.	Zusammenfassung/Schlussfolgerung.....	82
9.1	Geschwindigkeiten.....	82
9.2	Leistungsfähigkeit	83
9.3	q,v-Funktion	85
9.4	Vorschläge für q,v-Funktionen (Schweiz).....	88
10.	Danksagung.....	93
11.	Literatur.....	94

1 Einleitung

1.1 Aufgabendefinition und Ziele

Das Geschwindigkeitsniveau auf unseren Strassen hat sich seit dem Aufkommen des privaten Autoverkehrs in den 30er Jahren des letzten Jahrhunderts deutlich erhöht. Zunächst waren die Geschwindigkeiten hauptsächlich durch fahrzeug- und strassenseitige Grenzen beschränkt. In den 70er Jahren begannen aber Überlegungen zum Treibstoffverbrauch, der Sicherheit und der Leistungsfähigkeit das Geschwindigkeitsniveau gesetzlich zu bestimmen. In den letzten 20 Jahren führte das erhöhte Verkehrsaufkommen zu einem zusätzlichen limitierenden Einflussfaktor auf das Geschwindigkeitsniveau.

Ziel dieser Arbeit ist es, die wesentlichen Einflussparameter auf das Geschwindigkeitsverhalten der Fahrzeuge von 1950 bis heute zu analysieren und Ansätze zur Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit und Widerstandsfunktion (*capacity restraint function*) für diese Jahre darzulegen.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung sollen in Strassenverkehrsmodellen zur Bestimmung von für Zeitreihen der Erreichbarkeit Eingang finden. Dies wird im Rahmen des Projekts „COST 340: Entwicklung des Transitverkehrs-Systems und deren Auswirkung auf die Raumnutzung in der Schweiz“ durchgeführt. Weiterführende Informationen sind in Axhausen und Keller (2002) zu finden.

1.2 Einführung der wichtigsten Begriffe und Abhängigkeiten

Zur Beschreibung des Verkehrsablaufes werden zeitlich-räumliche Gesetzmässigkeiten verwendet. Diese werden mit mathematischen Modellen, welche die Abhängigkeiten der einzelnen Variablen verknüpfen, beschrieben und abgebildet. Dennoch bleibt die Beschreibung des Verkehrsablaufes eine Abstraktion der Realität, da die Gegebenheiten vereinfacht werden und nie alle Einflussvariablen beschrieben werden können.

Die verwendeten Modellansätze sind entweder stochastisch oder deterministisch. Bei stochastischen Untersuchungen steht die Verteilung der Variablen als Zufallsgrössen im Mittel-

punkt, während bei deterministischen Modellen nur eine bestimmte Grösse, z.B. die mittlere Geschwindigkeit, betrachtet wird. Daher wird zwischen mikro- und makroskopischen Modellen unterschieden. Mikroskopische Modelle beschreiben den Verkehrsverlauf anhand von Bewegungen einzelner Fahrzeuge. Makroskopische Modelle hingegen betrachten das ganze Kollektiv und ermitteln daraus typische Kennwerte. In dieser Arbeit werden aufgrund des Datenmaterials und der Aufgabenstellung nur makroskopische Ansätze untersucht.

Zur Erfassung und Analyse von Geschwindigkeiten und Kapazitäten werden im Wesentlichen durch

- momentane Erfassung (räumliche Ausprägung zu bestimmtem Zeitpunkt),
- lokale Erfassung (zeitliche Ausprägung an bestimmtem Querschnitt) und
- räumlich-zeitliche Erfassung (räumlich-zeitliche Ausprägung durch Mittelung über Raum und Zeit)

erfasst und beschrieben.

Wegen der Interessen an makroskopischen Beschreibungsgrössen werden Teilmengen des Verkehrs für bestimmte Zeitabschnitte betrachtet und dabei aufsummierte und gemittelte Kenngrössen angegeben. Schwankungen innerhalb des Zeitabschnittes werden dadurch nicht ausgewiesen und daher vernachlässigt.

Durch die unterschiedlichen Messverfahren (lokal/momentan) ergeben sich für denselben Zeitraum unterschiedliche mittlere Geschwindigkeiten:

$$\bar{v}_l \neq \bar{v}_m$$

Mittlere Geschwindigkeit von lokal gemessenen Einzelgeschwindigkeiten:

$$\bar{v}_l = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{li}$$

Mittlere Geschwindigkeit von momentan gemessenen Einzelgeschwindigkeiten:

$$\bar{v}_m = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m V_{mi}$$

Wardrop (1952) zeigte, dass die mittlere momentane Geschwindigkeit als das harmonische Mittel der lokalen Geschwindigkeit berechnet werden kann:

$$\bar{v}_m = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{v_{li}}}$$

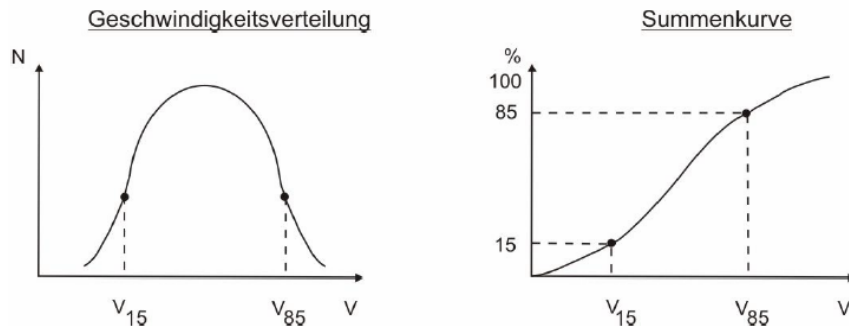
Die mittlere momentane Geschwindigkeit v_m ist immer kleiner oder gleich der mittleren lokalen Geschwindigkeit, also $v_m \leq v_t$, da bei lokaler Messung an einem Abschnitt ein Fahrzeug höherer Geschwindigkeit eine höhere Erfassungswahrscheinlichkeit hat, während hingegen bei momentaner Messung auf einem Streckenabschnitt ein Fahrzeug mit geringerer Geschwindigkeit eine höhere Erfassungswahrscheinlichkeit aufweist.

Ob lokal oder momentan gemessen wird, hängt von der Messeinrichtung ab. In der Regel werden lokale Messungen angewandt. In Abwandlung der strengen Definition werden aber auch bei lokalen Messungen die Geschwindigkeiten über einen kurzen Messabschnitt ermittelt. Dieser ist aber in der Regel so kurz, dass er vernachlässigt werden kann („quasi lokale“ Messung).

1.3 Darstellung der Messergebnisse

Die über einen Zeitabschnitt gemessenen Geschwindigkeiten lassen sich am besten mit einer Geschwindigkeitsverteilung als Summenkurve (Abbildung 1) darstellen. Dazu gehört auch eine Häufigkeitsverteilung. Es werden, je nach Problemstellung, v_{85} , v_{50} (Median) und v_{15} als charakteristische Kenngrößen verwendet. Dabei bezeichnen die Zahlen (85, 50, 15) die Prozentwerte der Fahrzeuge, die unterhalb der angegebenen Geschwindigkeit liegen.

Abbildung 1 Geschwindigkeitsverteilung und Summenkurve



Quelle: Wermuth (2002)

In Verbindung mit Leistungsfähigkeitsmessungen werden neben der Geschwindigkeit auch die Verkehrsstärke und -dichte gemessen:

Verkehrsstärke: $q = \frac{M}{t}$, mit $M = \text{Verkehrsmenge}$ und $t = \text{Zeiteinheit}$

Verkehrsdichte: $k = \frac{q}{\bar{v}_m}$, mit $\bar{v}_m = \text{mittlere Geschwindigkeit}$

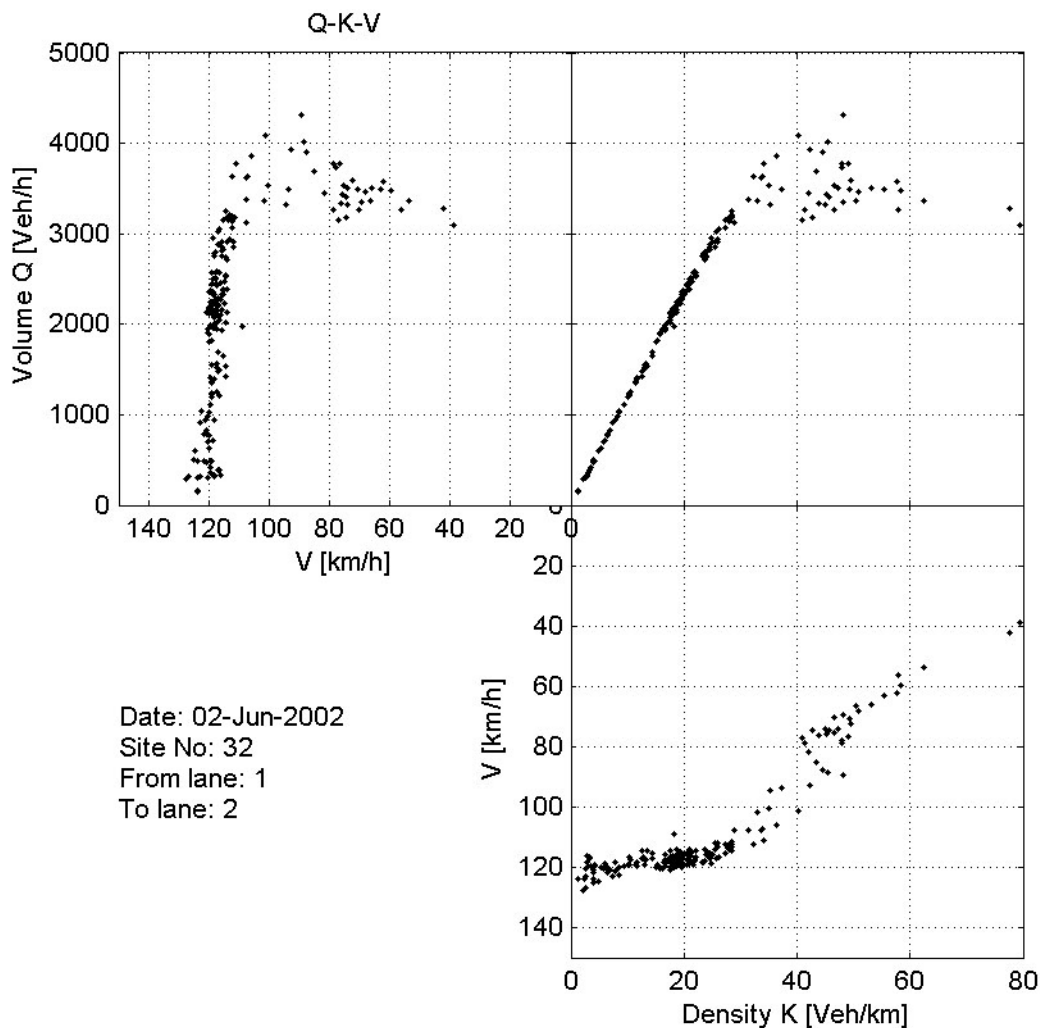
Zwischen diesen Grössen besteht der folgende Zusammenhang:

$$q = v \cdot k \left[\frac{Fz}{h} = \frac{km}{h} \cdot \frac{Fz}{km} \right]$$

Dieser Zusammenhang lässt sich am besten im Fundamentaldiagramm (Abbildung 2) darstellen. Dabei wird in der Regel für ein Intervall von einer Minute Dauer der Verkehrszustand anhand von Verkehrsstärke, mittlerer Geschwindigkeit und Dichte ermittelt. Ein Zustand ergibt dann im Fundamentaldiagramm einen Punkt, die Menge dieser Punkte kann dann durch Regression zu einer Kurve zusammengefasst werden. Solche Diagramme können das Ergebnis empirischer Untersuchungen auf der Strasse, von Simulationen oder mathematischer Überlegungen sein. Ein Fundamentaldiagramm kann aber mangels Zeitachse keine Auskunft über den zeitlichen Verlauf des Verkehrsablaufes geben. Für die Aufgabenstellung kann es

aber interessante Ergebnisse liefern, insbesondere über die Entwicklung der Geschwindigkeit unter Belastung.

Abbildung 2 Beispiel eines Fundamentaldiagramm (A1, Deitingen, Richtung Zürich)



Quelle: Bundesamt für Strassen (Astra), automatische Messungen

Als Mass für die Qualität des Verkehrsablaufes dienen seine Kenngrössen:

- Geschwindigkeitsverteilung, Geschwindigkeitsverlauf (längs der Strecke)
- Zeit- und Weglücken, Zeitlückenverteilung, Pulkbildung
- Anzahl Überholmöglichkeiten
- Level of Service (LOS) (HCM 1965, 1985, 2000; HBS 2001)

1.4 Messmethoden

Parallel zur Entwicklung der Fahrzeuge und der Projektierungsmethoden entwickelten sich auch die Messmethoden. In der Pionierzeit der 50er Jahre wurde das Verkehrsgeschehen meist noch gefilmt und später von Hand ausgewertet. Dieses Verfahren war zeit- und damit kostenaufwändig.

In der Folge wurde das Verkehrsgeschehen mit verschiedenen Arten von Detektoren erfasst:

Berührungsdetektoren erfassen Fahrzeuge durch Berührung über eine pneumatische oder mechanische Kontaktstelle. Solche Detektoren werden aufgrund des Verschleisses und hoher Installationskosten kaum mehr eingesetzt.

Detektoren mit stationären Feldern, also Magnet- und **Induktionsdetektoren**, erfassen Fahrzeuge durch die Messung der Änderung der elektrischen oder magnetischen Felder. Die Messungen der Magnetfelddetektoren waren recht ungenau und konnten sich deshalb nicht durchsetzen. Hingegen wird der Induktionsdetektor dank seiner unsichtbaren und wartungsarmen Induktionsschlaufen und hoher Genauigkeit am häufigsten verwendet und ermöglicht es, das Verkehrsgeschehen an Streckenabschnitten, die mit einem solchen System ausgerüstet sind, systematisch und langjährig zu untersuchen.

Strahlungsdetektoren basieren auf der Bündelung und Richtung elektromagnetischer Wellen mit kleinen Wellenlängen. In diese Gruppe gehören Radar-, Wärmestrahldetektoren und Lichtschranken. **Radardetektoren** sind weit verbreitet, zuverlässig und genau, lassen sich jedoch nur schwer tarnen. **Wärmestrahldetektoren** bieten eine gute Alternative für die örtlich gebundenen Induktionsschlaufen, da sie relativ einfach ausserhalb der Fahrbahn aufgebaut werden können. **Lichtschranken** haben den Nachteil, dass auf mehrspurigen Strassen keine gesonderte Erfassung der einzelnen Spuren möglich ist.

Mittels **automatischer Bildbearbeitung** lassen sich Videofilme automatisch auswerten (Fahrzeugzählung, Geschwindigkeit, Zeitlücken). Allerdings werden die Ansprüche auf Genauigkeit und Verfügbarkeit im Dauerbetrieb nicht erfüllt. Daher werden solche Einrichtungen meist nur für Verkehrszählungen verwendet.

Bei der **Messwagenmethode** „schwimmt“ der als normales Fahrzeug getarnte Messwagen im Verkehrsstrom mit und zeichnet dabei Daten auf. So können ganze Streckenabschnitte kontinuierlich untersucht werden (siehe auch Buck, 1992).

1.5 Schwierigkeiten bei der Untersuchung

Als Hauptschwierigkeit erwies sich die Suche nach gutem Datenmaterial. Geschwindigkeit und Leistungsfähigkeit sind in keinem statistischen Jahrbuch aufgeführt. Aufgrund der vielfältigen Einflussgrößen auf das Geschwindigkeitsverhalten und die Leistungsfähigkeiten und mangels einer Einigung auf eine Standardmessung unterscheiden sich die Messungen meist in den Randbedingungen. Es musste jeweils der ganze Forschungsbericht, aus dem Daten entnommen wurden, überprüft werden, um die Messbedingungen, die über Ziel und Art der Untersuchung bestimmt werden, berücksichtigen zu können.

Trotz grossem Zeitaufwand in der Recherche konnten nicht für jede Dekade und Land entsprechende Daten gefunden werden. Insbesondere zeigte sich, dass zu gewissen Zeiten (z.B. anfangs 70er Jahre in Deutschland) gleich mehrere Untersuchungen getätigt wurden, dafür in den Jahren davor und danach keine Daten verfügbar sind.

Zudem zeigte sich der Missstand eines fehlenden Standardwerkes im europäischen Raum, wie es das Highway Capacity Manual (HCM) in des USA darstellt. Durch die kontinuierliche Veröffentlichung grundlegender Zusammenhänge zur Leistungsfähigkeit und Geschwindigkeit im HCM konnte die Entwicklung in den USA relativ einfach verfolgt werden. Erst in den 90er Jahren begann man in Deutschland mit der Einführung ähnlicher Werke (Brilon, Grossmann und Blanke, 1994 und HBS, 2001), welche auf empirischen Ergebnissen basierenden Diagramme zur Berechnung und Bemessung von Strassen zur Verfügung stellen.

2 Einflussgrößen für Geschwindigkeit und Leistung

2.1 Infrastruktur

Fahrbahnbreite

Die gefahrene Geschwindigkeit hängt in hohem Masse von der gegebenen Strassenbreite ab. Deshalb ist bei Betrachtungen der Geschwindigkeit und der Leistungsfähigkeit auch immer das geometrische Normalprofil zu beachten. Bereits in den frühesten Jahren des Strassenbaus wurden für den jeweiligen Strassentyp passende Normalprofile gewählt. Diese sind abhängig von der Ausbaugeschwindigkeit, dem massgebenden Begegnungsfall und den Abmessungen der Fahrzeuge, insbesondere ihre Breite. Über den betrachteten Zeitraum blieben sowohl die Breiten der PW als auch der LKW in etwa gleich gross. Einzig die Längen der PW, in den 50er Jahren meist über 5 m, nahmen im Laufe der Jahre ab.

Anzahl Fahrstreifen

Die Anzahl der Fahrstreifen ist für die Leistungsfähigkeit zentral. Durch zwei oder mehr Fahrstreifen können langsam fahrende Fahrzeuge einfacher überholt werden. Dieser Umstand schlägt sich insbesondere bei Steigungsstrecken mit LKW kleiner Leistungsgewichte auf die Geschwindigkeit nieder: Steht nur eine Spur zur Verfügung und besteht aufgrund des Gegenverkehrs keine oder nur wenig Überholmöglichkeit, sinkt die mittlere Durchschnittsgeschwindigkeit auf den Wert des LKW.

Vorhandensein von Zusatz- und Ausweichstellen

Das vorhin erwähnte Problem kann auch mit Überholspuren oder Ausweichstellen gelöst werden.

Weitere Einflüsse der Anlage

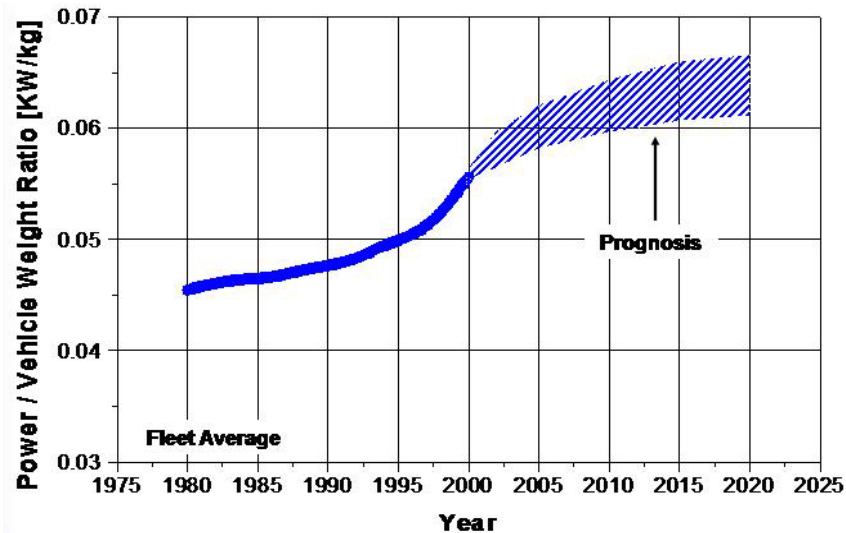
Anlagenseitig ergeben sich durch die horizontale und vertikale Linienführung weitere Einschränkungen. Diese wirken sich insbesondere über die dadurch begrenzten Sichtweiten oder zulässigen Querschleunigungen aus. Ebenso kann das Vorhandensein seitlicher Hindernisse das Transportangebot der Strasse weiter beeinflussen. Natürlich spielt auch der Belags- und allgemeine Strassenzustand eine Rolle bezüglich Leistungsfähigkeit und Geschwindigkeit.

2.2 Verkehrsmittel

Verhältnis Leistung/Gewicht

Dieser Relation wird insbesondere bei der Beurteilung von Strecken mit Steigungen grosse Wichtigkeit zugeschrieben. Erfahrungen des Hinterherfahrens eines untermotorisierten LKW auf einer Steigungsstrecke untermauern diese Ansicht. Deshalb wurde in der Schweiz und in anderen europäischen Ländern ein Mindestleistungsgewicht eingeführt (siehe auch 2.5.2). Die Entwicklung des Leistungsgewichts bei PW in Europa ist in Abbildung 3 dargestellt. Es wurden alle Motorisierungen der jeweils 30 europaweit zulassungsstärksten Fahrzeugmodellreihen ausgewertet und als jährlicher Mittelwert von Motorleistung und Fahrzeugmasse dargestellt. Es handelt sich also um eine repräsentative Auswahl mit einer Erfassung von stets deutlich über 75% des europäischen Marktes.

Abbildung 3 Entwicklung des Leistungsgewichts bei europäischen PW

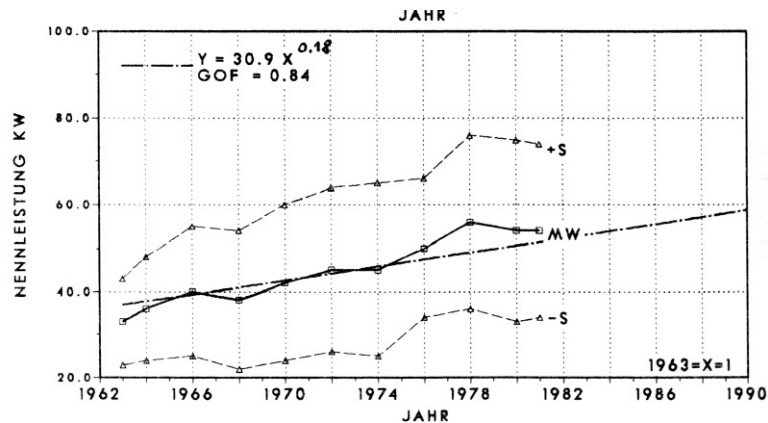


Quelle: FEV Motorentchnik, 2003

Beschleunigungsvermögen, Bremsvermögen

Durch den technischen Fortschritt im Fahrzeugbau konnten das Beschleunigungs- und Bremsvermögen der Fahrzeuge kontinuierlich verbessert werden. In den letzten Jahren zeigte sich bei den PW aber ein Trend der Übermotorisierung. Verbessertes Bremsvermögen kann sich als kürzere Zeitlücken der Fahrzeuge auswirken, sowie verbessertes Beschleunigungsvermögen auf Überholvorgänge. In der Verkehrsliteratur findet sich überraschend wenig über die technische Entwicklung und deren Einfluss auf den Strassenverkehr. Deshalb musste auf Informationsquellen des PW-Baus zurückgegriffen werden. Gerade aber bei der Entwicklung der Bremsleistungen zeigt sich eine Lücke bisheriger Untersuchungen. Im Rahmen dieser Untersuchung kann diese nicht gefüllt werden. Daher wird davon ausgegangen, dass die Bremsleistungen mehr oder weniger den Motorleistungen Schrittgehalten haben. Über die Entwicklung der Nennleistungen der Jahre '63 bis '81 gibt Abbildung 44 Auskunft.

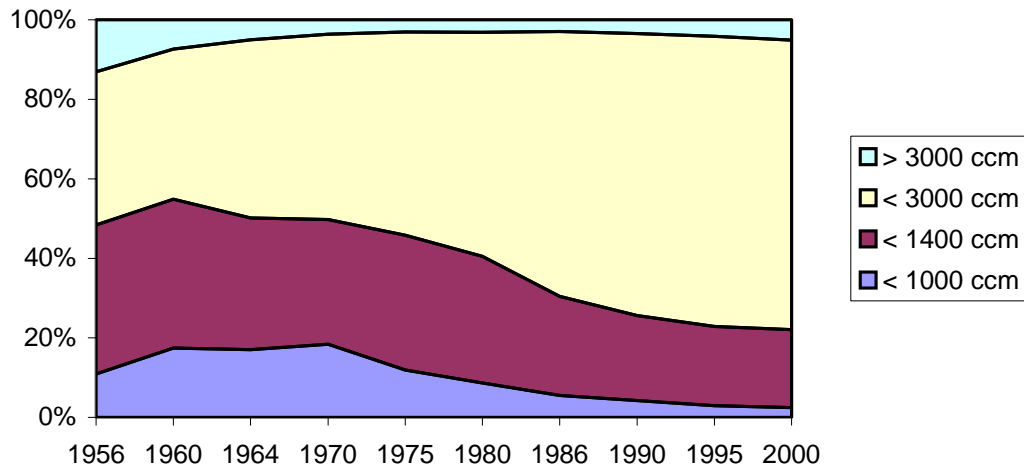
Abbildung 4 Deutschland: Entwicklung mittlere Leistung PWs, 1963-1981



Quelle: Lerner (1987)

Die vom Bundesamt für Statistik jährlich erhobenen Daten zu den in der Schweiz zugelassenen Fahrzeugen umfassen zwar keine Angaben zur Leistung der Fahrzeuge, dafür aber die Anzahl der Fahrzeuge je Hubraumklasse. Allerdings änderte Klasseneinteilung über die Jahre, was dazu führte, dass nur eine sehr grobe Einteilung vorgenommen werden konnte. Da für die Jahre bis 1970 die Einteilung in Steuer-PS vorgenommen wurde, ergibt sich durch die Umrechnung eine gewisse Unschärfe bei der Einteilung, welche aber nie über 60ccm beträgt. Diese Unschärfe verfälscht die Statistik also nur in geringstem Masse. Abbildung 5 stellt die zeitliche Entwicklung dieser Daten über den betrachteten Zeitraum in Schritten von 5 Jahren auf. Es ist klar zu erkennen, dass die hubraum- und somit wohl auch PS-stärkeren Fahrzeuge bis 1995 kontinuierlich zugenommen haben. Man kann also davon ausgehen, dass sich der von Lerner gezeigte Trend in Deutschland auch in der Schweiz vollzogen hat.

Abbildung 5 Schweiz: Entwicklung des Hubraums der Schweizer PW, 1956-2000



Quelle: Bundesamt für Statistik (versch. Jahrgänge)

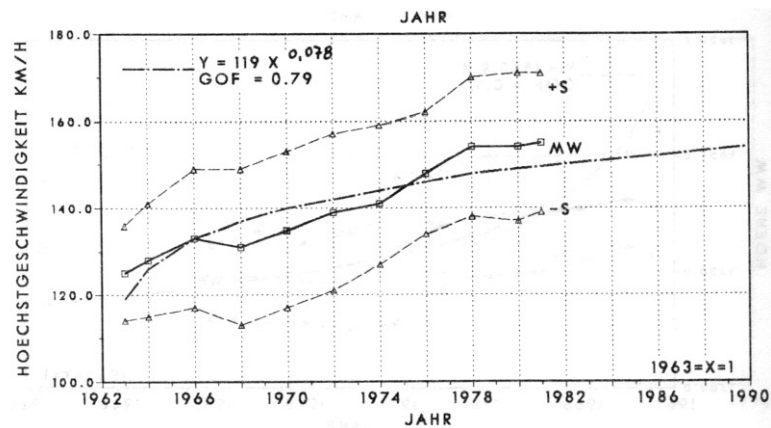
Abmessungen

Relevant sind die Abmessungen der grössten zugelassenen Verkehrsmittel. Diese blieben gesetzlich und infrastruktur-technisch bedingt über den beobachteten Zeitraum in etwa gleich.

(Höchst-) Geschwindigkeit

In Abbildung 6 zeigt sich ein klarer Trend zu immer höheren möglichen Höchstgeschwindigkeiten. Vor der Einführung von Geschwindigkeitsbegrenzungen in den 70er Jahren entsprach die mittlere Höchstgeschwindigkeit der später folgenden Begrenzung.

Abbildung 6 Deutschland: Mittlere Höchstgeschwindigkeiten PW, 1963-1981



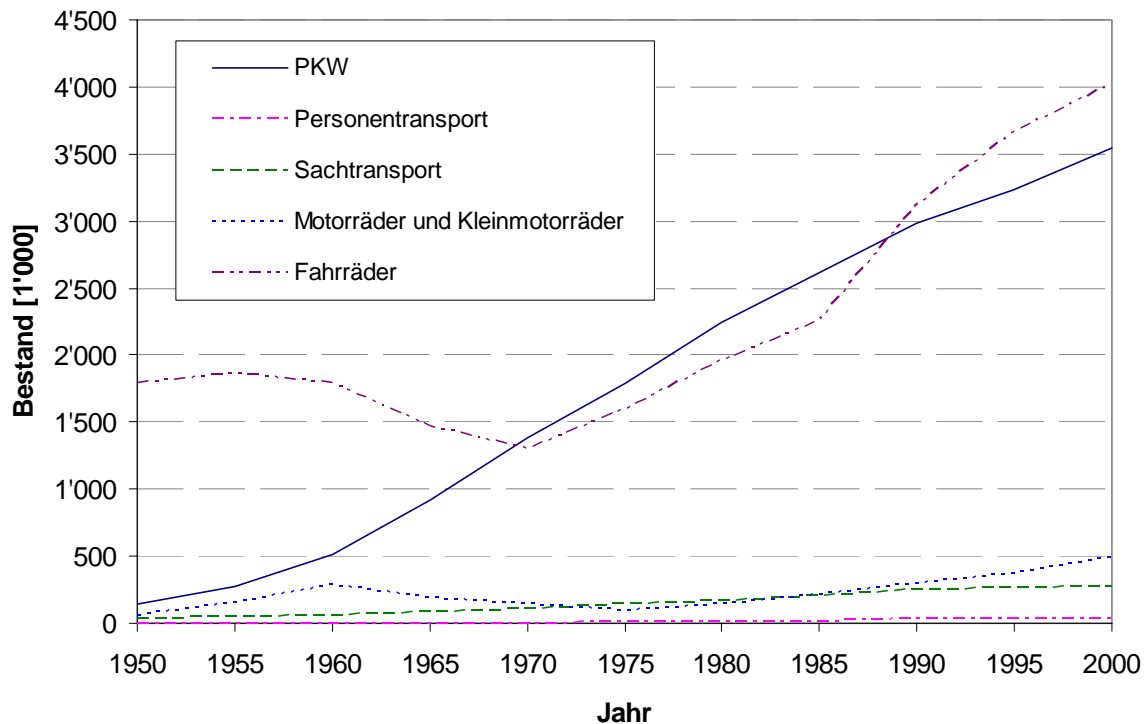
Quelle: Lerner (1987)

2.3 Verkehrsteilnehmer

Verkehrszusammensetzung

Die Verkehrszusammensetzung hat direkten Einfluss auf die Geschwindigkeitsverteilung und Leistung von Strassen. Dabei kann die Zusammensetzung tages- und stundenabhängig variieren. Es zeichneten sich über die letzten 50 Jahre auch langfristige Trends ab. In frühen Untersuchungen wurde ein bedeutend höherer Motorradanteil als heute festgestellt. Dies zeigt sich auch in der Statistik (Abbildung 7). Bis 1960 kam auf 2 PW 1 Motorrad, heute sind es bedeutend weniger. Auch das Fahrrad als Transportmittel war in früheren Jahren weiter verbreitet. Mit ansteigendem wirtschaftlichem Wohlstand erhöhte sich der PW-Anteil aber mehr und mehr.

Abbildung 7 Schweiz: Entwicklung Verkehrsmittel in der Schweiz, 1950-2000



Quelle: Bundesamt für Statistik (2000)

Fahrweise

Es ist schwierig, eine Entwicklung der Fahrweisen nachzuweisen. Zum einen unterscheiden sich bereits die heute gefahrenen Fahrweisen an sich grundlegend, zum anderen ist die Beschreibung eines Fahrstils schwierig und wurde so nicht dokumentiert. Es lässt sich aber wohl sagen, dass sich durch jüngere Neulenker mit immer stärker motorisierten Fahrzeugen und höheren Verkehrsstärken, eine aggressivere Fahrweise entwickelt hat. Allenfalls könnte man die Zeitlückenabstände als Indikator für die Fahrweise verwenden, diese sind aber vor allem von der Verkehrsstärke abhängig.

Als wichtiger Faktor der Entwicklung des Fahrverhaltens sei hier auch die Gewöhnung ans Auto zu erwähnen. Neben der technischen Entwicklung im Fahrzeugbau dürfte die immer

weitere Verbreitung des Automobils grossen Einfluss auf die gefahrenen Geschwindigkeiten und Kapazitätsfunktionen gehabt haben.

2.4 Äussere Einflüsse

In verschiedenen Studien wurde nachgewiesen, dass Witterungs- und Lichtverhältnisse (Tag/Nacht) die Geschwindigkeiten beeinflussen. So wird bei Tag oder bei Regen/nasser Fahrbahn langsamer gefahren als in der Nacht oder bei trockener Fahrbahn

2.5 Gesetzliche Vorschriften

Gesetzliche Beschränkungen haben direkten Einfluss auf die Geschwindigkeitswahl. Zu Beginn des Betrachtungszeitraums beschränkte die Fahrzeugtechnik die Höchstgeschwindigkeit, gesetzliche Beschränkungen waren, ausser im Innerortsgebiet, nicht nötig. Mit den immer stärkeren Fahrzeugen sah sich der Gesetzgeber gezwungen flächendeckend Geschwindigkeitsbegrenzungen einzuführen. Diese wurden über die Jahre immer wieder angepasst.

2.5.1 Geschwindigkeitsbegrenzungen in der Schweiz

Tabelle 1 Schweiz: Geschwindigkeitsbegrenzungen 1950-2003

Periode	Autobahn	Ausserorts	Innerorts	Bemerkungen
Vor 1.1.73	-	-	60	Keine Limiten auf Autobahnen
1.1.73 - 14.3.74	-	100	60	Versuchsweise Limite 100km/h ausserorts
17.11.73 - 14.3.74	100	100	60	Energiesparmassnahme
14.3.74- 31.12.75	130	100	60	Versuchsweise Limite 130 km/h auf Autobahnen
1.1.76	130	100	60	Limiten Autobahnen u. ausserorts definitiv
1.7.80- 31.12.82	130	100	50	Versuch Tempo 50 Innerorts
1.1.85	120	80	50	Versuchsweise Limiten 120 und 80 km/h
1.1.88	120	80	50	Verlängerung
ab 1.1.90	120	80	50	Limiten definitiv
1.7.91-31.8.91	(100)	80	50	Herabsetzung Limiten auf einzelnen Strecken (befristet, Sommersmog)

Quelle: Dietrich, Lindenmann und Chabot-Zhang (1998)

Tabelle 2 Schweiz Geschwindigkeitsbegrenzungen, Spezialfälle

Jahr	Autobahn	Ausserorts	Innerorts	Bemerkungen
1984	80	80	50	Schwere Motorwagen mit über 3,5t Gesamtgewicht
1984	80	80	50	Anhänger bis 1t Gesamtgewicht
1984	100	80	50	Gesellschaftswagen ohne Anhänger
1984	80	60	50	Schwere Motorwagen mit Anhänger
1984	100	60	50	Sattelschlepper

Quelle: Spacek und Düggele (1984)

2.5.2 Andere relevante Gesetze

Seit 1977 wird für alle in der Schweiz zugelassenen Motorwagen, Anhängerzüge und Sattelmotorfahrzeuge eine Mindestmotorisierung von 10 PS/t vorgeschrieben. BAV, Art. 18. In Österreich gilt seit 1980 8 PS/t und in Deutschland als auch in allen anderen EU-Ländern seit 1977 6 PS/t (Daten 1984). Seit 2. September 1998 gilt in der Schweiz, im Interesse des Abbaus von Handelshemmnissen bzw. aufgrund der Anpassung der technischen Vorschriften für Motorfahrzeuge an das EU-Recht, eine Mindestmotornutzleistung je Tonne Gesamtgewicht von 5,0 Kilowatt (6,8 PS). Es ist aber zu bemerken, dass erfahrungsgemäss (Bundesrat, Antwort auf Interpellation 98.3668) die stärksten Fahrzeuge im alpenquerenden Transitverkehr eingesetzt werden.

2.5.3 Andere Geschwindigkeitsbeschränkungen

Je nach Strassenabschnitt gelten gemäss VSS-Normen andere Höchstgeschwindigkeiten. Diese kommen insbesondere bei Strecken mit Gefälle, hoher Kurvigkeit, beschränkten Sichtweiten oder eingeschränktem Strassenquerschnitt zum Tragen. Für die Ermittlung der Durchschnittsgeschwindigkeit spielen diese Abschnitte aber eine untergeordnete Rolle, da die meisten der vorliegenden Daten unter Normbedingungen ohne genannte Einflüsse erhoben wurden.

2.6 Die Messung unter idealen Bedingungen

Schon bei den ersten Untersuchungen zur Geschwindigkeitsverteilung, Zeitlückenabstand und Leistungsfähigkeit von Strassen erkannte man, dass die Messstrecken unter gewissen Bedingungen zwingend gleich sein mussten. So wird heute noch auf ebenen Abschnitten ausserhalb des Einflussbereiches von Anschlüssen gemessen. Ebenso wird beachtet, dass die seitliche Hindernisfreiheit und die Fahrstreifenbreite den VSS-Normen entsprechen. Auch Krümmigkeitsverhältnisse und Sichtweiten sollen, so weit möglich, keinen Einfluss auf die Messdaten haben. Durch Messungen an Strecken mit Abweichungen vom Idealzustand kann der jeweilige Einfluss erkannt, ausgewertet und auf andere Strassenabschnitte gleicher Bedingungen übertragen werden.

3 Vorgehen bei der Datenermittlung

Um auf die Frage der Geschwindigkeitsentwicklung über den Zeitraum 1950-2000 schlüssige Antworten geben zu können, mussten in der Literatur Berichte und Resultate über Geschwindigkeitsmessreihen gefunden werden. Es wurden vor allem Ergebnisse in den Ländern USA, Schweiz und Deutschland gesucht. Der Fokus der Recherche lag dabei auf der Schweiz und Deutschland, aus den USA wurden zunächst nur die HCM verwendet. Besonders in den Anfängen solcher Untersuchungen (bis anfangs der 70er Jahre) zeigte sich das HCM auch als Forschungsführer für den deutschsprachigen Raum. In vielen Studien wurde von den Ergebnissen des HCM ausgegangen, und es wurde probiert, dessen Ergebnisse für hiesige Verhältnisse zu bestätigen oder zu überprüfen.

In der Schweiz wurden die Messungen jeweils vom IVT der ETH Zürich durchgeführt und waren daher einfach zu finden und in den Bericht einzubeziehen. Überhaupt lässt sich sagen, dass in der Schweiz durch die quasi Monopolstellung des IVT eine Kontinuität der Messungen erreicht wurde, die den Autoren die Arbeit erleichterte. Auf der anderen Seite wird seit Jahren auf die gleiche Art gemessen und ausgewertet, während andere Institute versuchen, die Messungen mit immer komplexeren mathematischen Methoden auszuwerten und Abhängigkeiten zu erklären.

Neben den Forschungsberichten fanden sich auch immer wieder einzelne Artikel in den einschlägigen Zeitschriften *Strassenverkehrstechnik*, *Strasse und Autobahn* und *Strasse und Verkehr*. Diese wurden systematisch auf Berichte mit Zusammenhang zum vorliegenden Bericht durchsucht.

Auf eine derartige Suche in Zeitschriften und Forschungsberichten aus den USA wurde verzichtet. Dies zum einen, weil im HCM jeweils der neuste Stand der Forschung zusammengefasst ist, und zum anderen, weil die Übertragbarkeit der in den USA gemessenen Daten immer wieder in Frage gestellt wurde und wird.

4 Entwicklung der mittleren Geschwindigkeit

4.1 Geschwindigkeitsverteilung, Abhängigkeiten

Verkehrsstärke

Der wichtigste Einflussfaktor auf die Geschwindigkeitsverteilung ist die Verkehrsstärke. Herrscht geringer Verkehr, dann ist der individuelle Verkehrsteilnehmer frei in der Geschwindigkeitswahl. Durch ein Ansteigen der Verkehrsstärke wird der einzelne mehr und mehr von anderen, deren Geschwindigkeitswahl und Fahrverhalten beeinflusst, bis am Punkt der maximalen Leistungsfähigkeit theoretisch alle Verkehrsteilnehmer in einem Pulk gleicher Geschwindigkeit hintereinander herfahren. Insbesondere auf 2-spurigen Landstrassen ohne Überholstreifen kann sich relativ schnell eine Kolonne gleicher Geschwindigkeit, nämlich des langsamsten Fahrzeuges, bilden. Dies ist auf Steigungsstrecken umso häufiger, da hier oftmals die Motorisierung der LKW die Geschwindigkeitswahl der LKW bestimmt. Auf Autobahnen ist dieses Problem weniger relevant. Dennoch können bei Überholungen vergleichsweise langsamer Fahrzeuge, im Volksmund bekannt als „Elefantenrennen“, aber gleiche Zustände entstehen. Aber auch bei „vernünftiger“ Fahrweise der langsamen LKW (auf nur einer Spur) leidet die Verkehrsqualität.

Geschwindigkeitsbegrenzung

Eine Homogenisierung der Geschwindigkeiten wurde in der Vergangenheit durch die Einführung von Geschwindigkeitsbegrenzungen erreicht. Bei der Analyse des Datenmaterials ist also immer zu beachten, ob eine Begrenzung vorlag.

Verkehrszusammensetzung

Ein weiterer Einflussfaktor ist die Verkehrszusammensetzung. Wie oben erwähnt, kann ein langsam fahrender LKW das Geschwindigkeitsregime bestimmen. Zusätzlich ist auf den Anteil der Motorräder und allenfalls der Fahrräder zu achten.

4.2 Geschwindigkeiten auf Autobahnen 1950-2000

4.2.1 1950-1960

Nach Pampel (1955) ist die Vergleichbarkeit der Daten zwischen den USA und Europa aufgrund der Unterschiede der Einflussfaktoren nicht immer gewährt. Ursachen dafür sieht er insbesondere bei der Betrachtung der Fahrzeugtypen. Diese seien in den USA viel einheitlicher als in Deutschland, zudem gäbe es in den USA kaum langsam fahrende schwere Lastzüge und Motorräder. Dadurch sei die Verkehrszusammensetzung homogener als in Deutschland.

USA

Mit dem Highway Capacity Manual (HCM), veröffentlicht 1950, gelang es dem U.S. Department of Commerce, ein Standardwerk zu lancieren, welches dem Forschungsstand in Europa um Jahre voraus war. Die im HCM (1950) publizierten Daten basieren auf empirischen Werten und wahrscheinlichkeitstheoretischen Berechnungen. Allerdings sind im HCM (1950) nur wenige Angaben zu Geschwindigkeiten zu finden, der Fokus liegt auf der Leistungsfähigkeit. Zur Geschwindigkeit auf Autobahnen gibt einzig die untenstehende Abbildung 8 Auskunft. Auf der Überholspur werden trotz 2'000 Fz/h Geschwindigkeiten bis 60 Meilen, also über 90 km/h gefahren. Es finden sich aber keine Informationen über die Geschwindigkeitsverteilung oder eine Durchschnittsgeschwindigkeit auf solchen Autobahnen. Die Daten wurden aus beobachteten Zeitlücken errechnet.

Abbildung 8 USA: q-v-Funktionen, errechnet aus beobachteten Zeitlücken, 1950

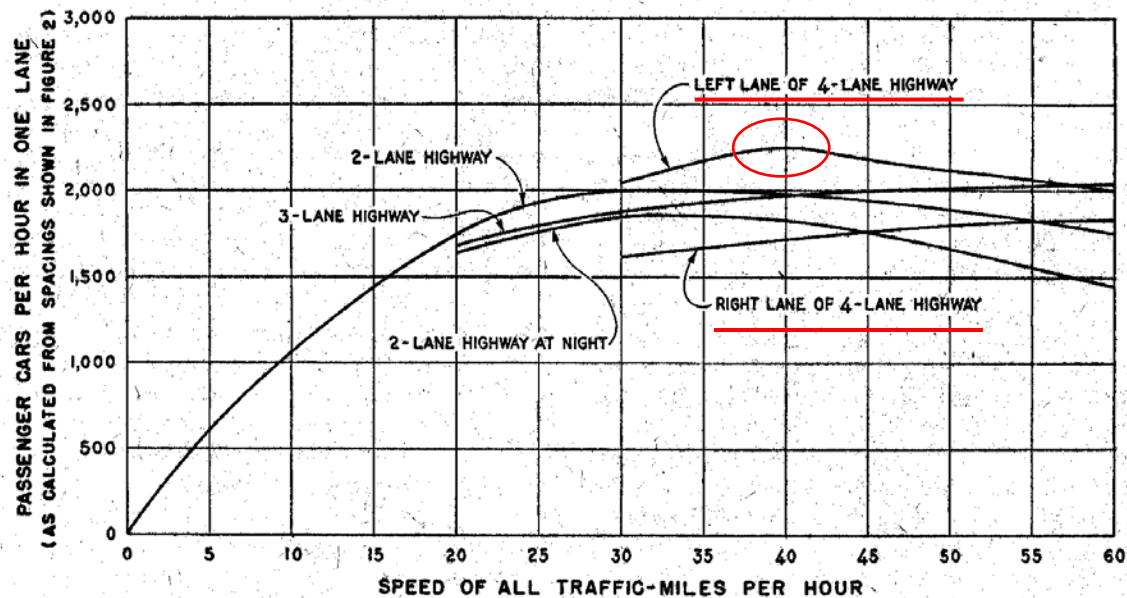


Figure 3.—Maximum capacity of a traffic lane, based on average spacings between pairs of vehicles traveling at the same speed.

Quelle: HCM (1950), S. 28

Deutschland

Erste Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit im deutschsprachigen Raum nach dem 2. Weltkrieg wurden 1955 von Pampel durchgeführt. Zuvor hatte Wehner (1938) die Leistungsfähigkeit auf der Autobahn Heidelberg-Mannheim untersucht. Er kam zum Ergebnis, dass bei einem Anstieg der Verkehrsstärken auf 2'010 Fz/h (2 Spuren) sich eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 54,9 km/h einstellte. Pampel untersuchte den Verkehrsfluss auf Autobahnen und Autostrassen um eine Leistungsfähigkeit zu beziffern, da diese bisher nur theoretisch mit doch sehr abweichenden Zahlen (937-4'800 Fz/h) oder durch die Untersuchungen von Wehner angegeben werden konnte. Untersucht wurden die Autobahnabschnitte Lübeck-Hamburg an einem Sonntag (keine LKW), Fall I und Düsseldorf-Köln werktags, Fall II. Abbildung 9 zeigt die v-q-Beziehung der beiden Fälle.

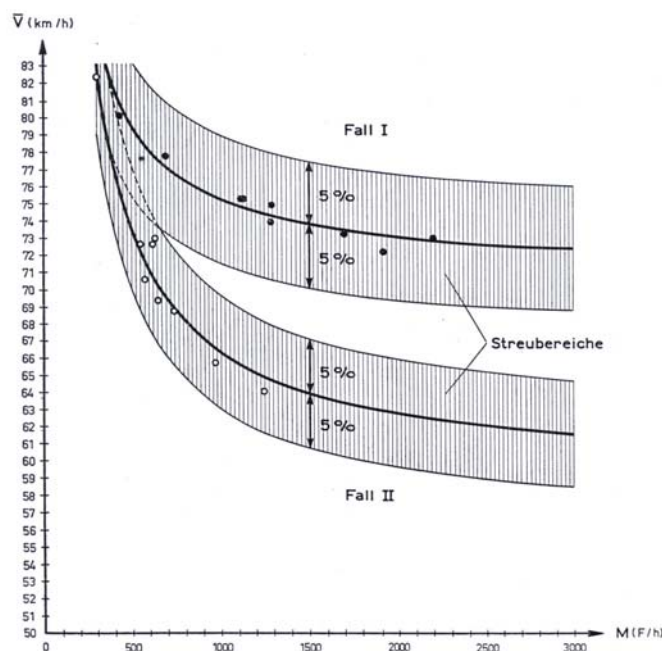
Die Einflussfaktoren der Messungen (Fall I und II) sind: keine Steigung, keine Krümmung, 2-spurige, trockene, gute Einrichtungs-fahrbahn, nachmittags im Sommer.

Abweichende Einflussfaktoren:

- Fall I: Verkehrszusammensetzung PW : Kraftrad: LKW, 70-80 : 20-30 : 0
- Fall II: Verkehrszusammensetzung PW : Kraftrad : LKW, 60-70 : 10-25 : 10-30

Die Grenzggeschwindigkeiten werden mit 71,9 km/h für Fall I bei einer Verkehrsmenge von 5080 Fz/Stunde (zwei Spuren) angegeben, für Fall II mit 61,7 km/h bei einer Menge von 2915 Fz (zwei Spuren). Die Zahlen beziehen sich dabei immer nur auf eine Richtung, da durch die Richtungstrennung eine getrennte Bewertung sinnvoll ist. Dabei ist zu bemerken, dass die 5080 resp. 2915 Fz nie gemessen wurden, sondern durch Extrapolation aufgrund der Annahme eines linearen Verlaufes bis zur Leistungsfähigkeit entstanden sind. In diesen Jahren stellte sich das Problem, dass man bis zum Stau überlastete Autobahnen eigentlich nicht kannte und daher Untersuchungen der Staubildung mangels Möglichkeiten zur Beobachtung nicht durchführen konnte.

Abbildung 9 Deutschland: Geschwindigkeiten auf Autobahnen, 1955



Quelle: Pampel (1955), S. 21

Pampel bemerkt dazu, dass die Ergebnisse nur eine bedingte Zuverlässigkeit gewähren, weil der Umfang der Messaufnahmen zu gering sei (je Fall jeweils 9 Stunden Messungen).

Schweiz

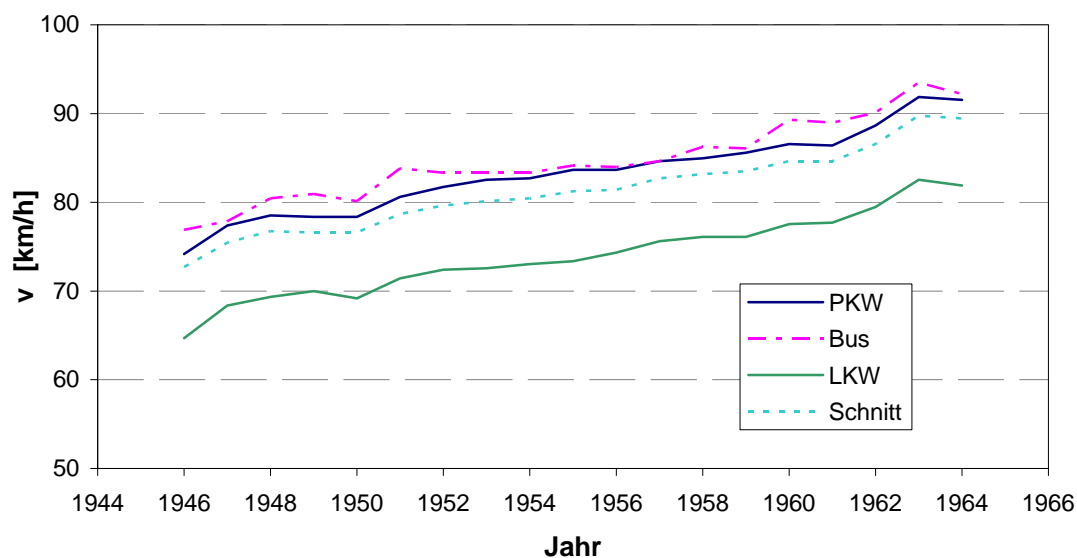
In der Schweiz wurde das erste Autobahnteilstück Horw-Luzern erst im Jahre 1955 eröffnet. Weitere folgten erst in den 60er Jahren. Daher steht kein Datenmaterial zur Verfügung.

4.2.2 1960-1970

USA

Im Jahre 1965 erschien ein neues, umfassenderes HCM. Darin wurde unter anderem auch die Geschwindigkeitsentwicklung auf Autobahnen (2- und mehrspurig) untersucht. Die Daten wurden unter Bedingungen des freien Verkehrs (freie Tempowahl) gemessen. Die lineare Trendfunktion (Abbildung 10) zeigt eine Steigerungsrate von 0,8 km/h pro Jahr. Aus heutiger Sicht interessant scheint, dass die Geschwindigkeiten der Busse in der Regel höher (1,4 km/h) sind als die der PW. LKW fahren rund 10km/h langsamer als die Busse/PW. Solche Untersuchungen widerspiegeln aber nicht, wie sich die Geschwindigkeiten im gebundenen Verkehr verändert haben.

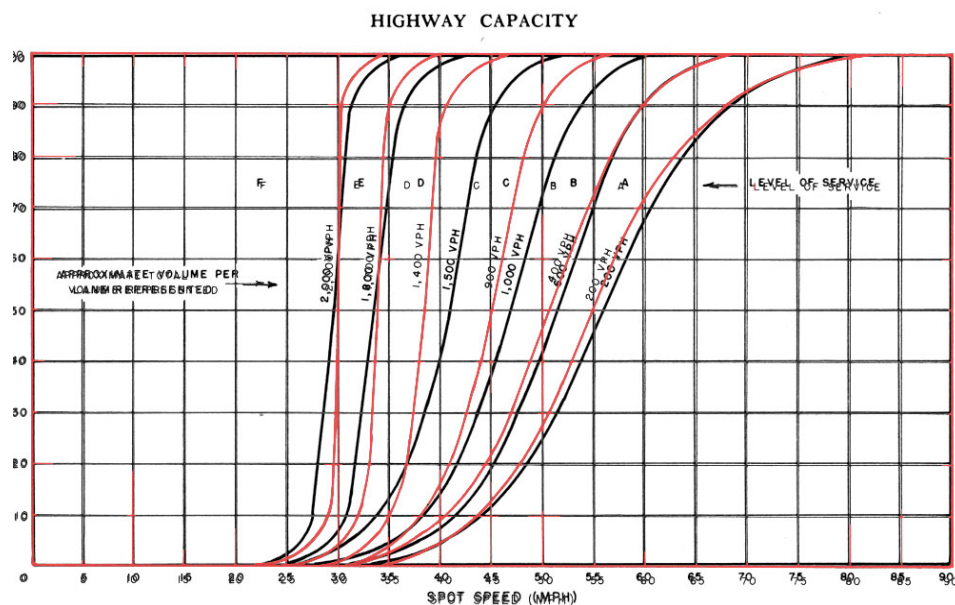
Abbildung 10 USA: Geschwindigkeiten auf Autobahnen (freier Verkehrsfluss), 1946-1964



Daten aus HCM (1965), S. 44

Welche Geschwindigkeiten auf höher belasteten Strassen gefahren wurden, geben die folgenden Geschwindigkeitsverteilungen an (Abbildung 11). Die Daten stammen von verschiedenen Messungen des *Highway Research Board* unter *relatively ideal* Bedingungen und sind bereits aggregiert. Die schwarzen Linien stellen Messreihen auf *rural highways* (Landstrassen), die roten auf *free- resp. expressways* (Hochleistungsstrassen) dar. Es ist zu erkennen, dass sich bei einer Belastung von 2000 Fz/Spur eine sehr homogene Geschwindigkeitsverteilung um 30 Meilen/h, also knapp 50km/h einstellt. Hier ist die Grenze zwischen den im HCM 1965 eingeführten Level of Service (LOS) F und E.

Abbildung 11 USA: Vergleich Geschwindigkeitsverteilungen, 1950 und 1965 (rot)



Daten aus HCM (1965)

Schweiz

Die erste Autobahn wurde 1955 zwischen Horw und Luzern eröffnet. Neue Autobahnabschnitte wurden in den Jahren 1965-1970 der Öffentlichkeit übergeben. In der Literatur wurden jedoch keine Geschwindigkeitsmessungen zu diesen Strecken gefunden.

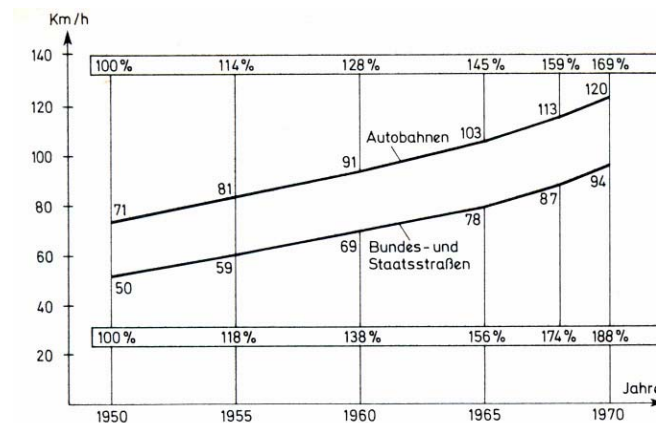
Deutschland

Im Zuge der stetigen Verkehrszunahme und den aufgrund verbesserter Fahrzeugtechnik höheren Geschwindigkeiten nahmen auch die Unfälle zu. Daher entschloss man sich anfangs der 60er Jahre in Deutschland zur temporären (zu Spitzenstunden) und lokalen Tempobeschränkung. 1963 wurde an einem Sonntag (keine LKW) eine Messreihe mit und ohne Beschränkung auf der Bundesautobahn München-Salzburg (2x2-spurig) durchgeführt. Die Daten sind in Tabelle 3 in direktem Vergleich mit den Jahren 1973-1975 aufgeführt. Da sich gerade nur 11% der Verkehrsteilnehmer an die Beschränkung hielten, darf davon ausgegangen werden, dass die Höchstgeschwindigkeit zu tief gewählt worden war. Auf der gleichen Messstrecke wurde 2 Jahre zuvor, bei jedoch einer beträchtlich geringeren Verkehrsstärke 800 Fz/h und in etwa gleiche Geschwindigkeiten gemessen. Es kann also davon ausgegangen werden, dass die Verkehrsstärke keinen grossen Einfluss auf die Messdaten 1963 gehabt hat. Die äusseren Einflussbedingungen an den Messtagen sind als gut zu bezeichnen, der Messabschnitt genügte den in Abschnitt 2.6 aufgestellten Anforderungen.

Bereits 1965 installierte man auf diesem Abschnitt eine Wechselverkehrszeichenanlage. Um die Auswirkungen auf den Verkehrsfluss zu analysieren, wurden 1967/68 Verkehrsdaten erhoben. Diese Daten zeigen mit Geschwindigkeiten um 130 km/h (auf der linken Spur) wesentlich höhere Werte als noch 1962. Das Diagramm zu den Messungen findet sich in Abschnitt 6.2.2.

Im Zuge der Ausarbeitung der RAL-L-1 wurden die mittleren (am häufigsten zu erwartenden) Geschwindigkeiten der Jahre 1950 bis 1970 in einer Grafik aufgezeichnet. Abbildung 12 zeigt einen beschleunigten Anstieg der Geschwindigkeiten in den Jahren 60-70. Besonders die Zunahme von 20 km/h in nur 5 Jahren zwischen 1965 und 70 erstaunt. Es ist allerdings zu beachten, dass nur PW berücksichtigt wurden.

Abbildung 12 Deutschland: Zunahme der mittleren Geschwindigkeiten (PW), 1950-1970



Quelle: Köppel (1973)

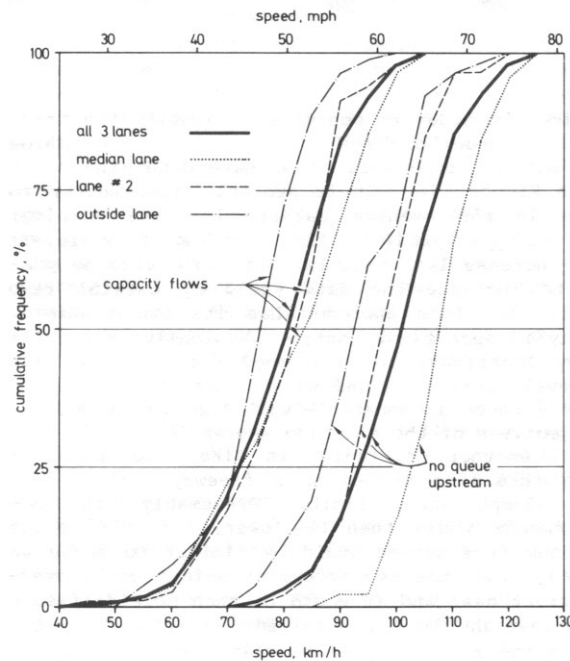
4.2.3 1970-1980

Mit der Ölkrise im Jahre 1973 sah man sich gezwungen, die Höchstgeschwindigkeiten zu begrenzen. Anlässlich dieser Ereignisse wurden einige Untersuchungen zum Geschwindigkeitsverhalten getätigt. In der Schweiz als auch in den USA hielt man auch nach Abklingen der Krise an Geschwindigkeitsbegrenzungen fest.

USA

Auf einem 6-spurigen *urban freeway* in Toronto, Canada, wurden Kapazitätsuntersuchungen gemacht (vergleiche Abschnitt 6.2.4). Dabei erfasste man natürlich auch Geschwindigkeiten. Abbildung 13 zeigt die beobachtete Geschwindigkeitsverteilung unter verschiedenen Bedingungen. Die linke Kurve der Abbildung 13 gibt die Geschwindigkeitsverteilung nahe an der Kapazitätsgrenze, die rechte dieselbe unter Bedingungen ohne Kolonnen.

Abbildung 13 Canada: Geschwindigkeitssummenkurve, 3-spurige Stadtautobahn, 1984

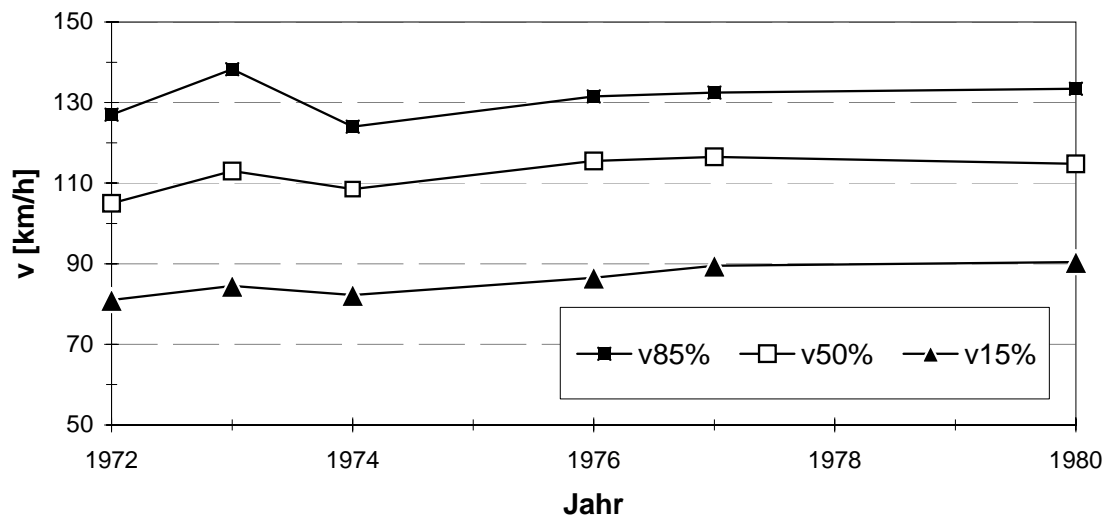


Quelle: Hurdle und Datta (1984)

Schweiz

Im Jahre 1972 wurden in der Schweiz die ersten vier permanenten Messstellen auf Autobahnen eingerichtet. Die für den Fahrzeuglenker unbemerkbaren Induktionsschleifen haben sich so bewährt, dass heute 18 Messstellen bestehen. Alle Messstellen genügen den idealen Bedingungen. Messdaten wurden nur unter guten Witterungsbedingungen erhoben. Die Messeinrichtungen kamen insbesondere bei der Analyse des Verkehrsablaufes nach Einführung neuer Tempolimiten (vergleiche auch Tabelle 1) zum Einsatz. Die Geschwindigkeitsmessungen fanden alle im mehr oder weniger freien Verkehr statt. Zwar wuchsen die bei den Erhebungen festgestellten Verkehrsstärken kontinuierlich, erreichten aber erst in den 90er Jahren mehr als 1000 Fz/h. Dennoch kann gesagt werden, dass der Einfluss der Verkehrsstärke auf das Geschwindigkeitsverhalten vernachlässigbar ist. Dagegen ist der LKW-Anteil über die Jahre in etwa gleich geblieben (rechte Spur um 22%, linke Spur 2-3%).

Abbildung 14 Schweiz: Geschwindigkeitsentwicklung auf Autobahnen, 1972-1980



Datenquelle: automatische Messstellen Astra

Abbildung 14 zeigt, dass in den Jahren 1972-1980 die Geschwindigkeiten angestiegen sind. Die Geschwindigkeitsbegrenzung lag bei 130 km/h. Als Mittelwert der Geschwindigkeit im freien Verkehrsfluss über die Jahre 1972-1974 wurde 112 km/h errechnet.

Deutschland

In Deutschland betrug die mittlere Geschwindigkeit der PW im Jahre 1970 120 km/h. Die Entwicklung mit und ohne Begrenzung wurde anhand von Messungen in den Jahren 1973-1975 auf der A10 Heidelberg-Karlsruhe vom Institut für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe dokumentiert. Tabelle 3 zeigt die gemessenen Geschwindigkeiten und die dazugehörigen Verkehrsstärken (Fahrspur/Überholspur). Die Zahlen in Klammern geben Auskunft über den LKW-Anteil. Abbildung 15 zeigt die grafische Aufbereitung der Ergebnisse der Messungen in den 70er Jahren.

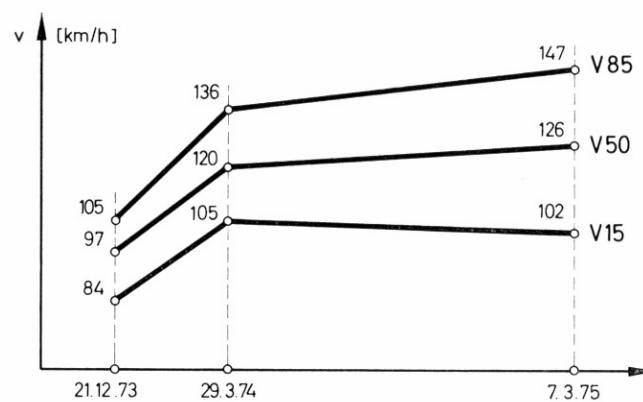
Tabelle 3 Deutschland: Messwerte mit und ohne Geschwindigkeitsbegrenzungen

Limit	Datum	Fahrspur (Fz/h)	Überholspur (Fz/h)	V ₁₅	V ₅₀	V ₈₅
60	28.7.63	940 (0%) ¹	1140 (0%)	61	70	79
frei	1.9.63	680 (0%)	1000 (0%)	75	95	113
100	21.12.73	906 (34%)	1206 (0%)	79	96	104
R 130 ²	29.3.74	796 (27%)	797 (0%)	86	113	131
R 130	7.3.75	789 (23%)	1035 (0%)	83	117	141

¹ LKW-Anteil, ² Richtgeschwindigkeit

Daten aus Köhler (1976)

Abbildung 15 Deutschland: Geschwindigkeitsmessungen BAB A10, 1973, 74 und 75

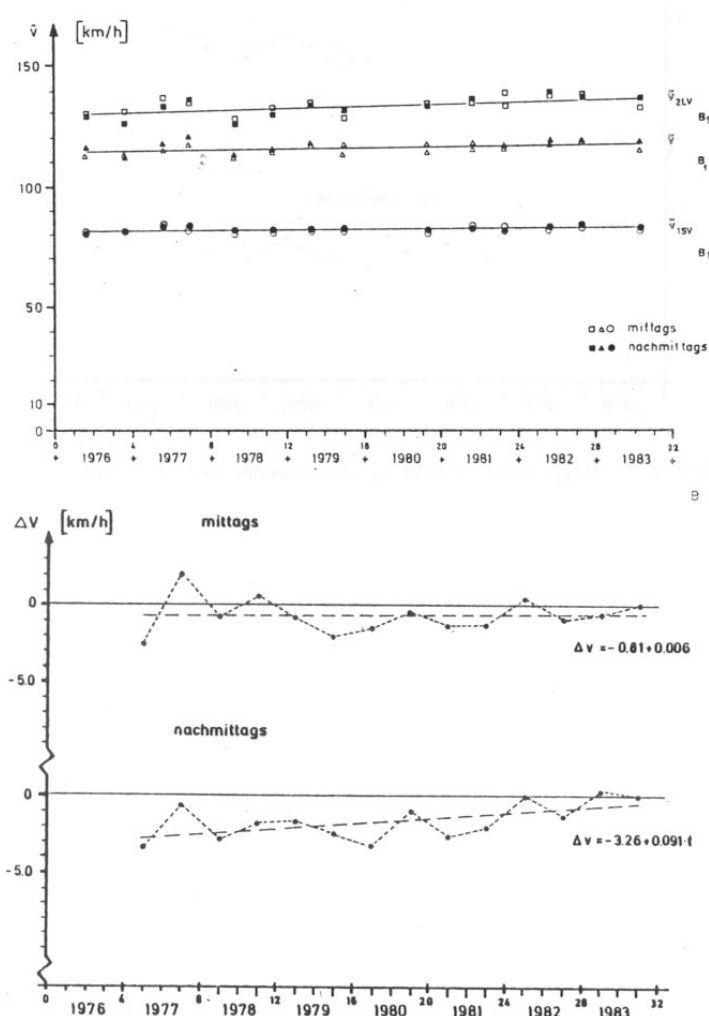


Quelle: Köhler (1976)

Der Forschungsbericht von Keller, Hampe und Wagner (1985) wertet aggregierte Verkehrskennwerte von 11 Messstellen im Zeitraum 1976-1983 aus. Die Autoren erkannten, dass es, um zeitliche Trends korrekt zu ermitteln, nötig ist, Effekte äusserer Faktoren wie die Verkehrsstärke, Verkehrszusammensetzung, Witterung oder gar Jahreszeit mittels varianzanalytischen Verfahren zu quantifizieren und vom Trend zu isolieren. Der Bericht kam zum Resultat (siehe Abbildung 16, unten), dass die mittlere Zuwachsrate 0,25 km/h pro Jahr beträgt, dass aber halbjährliche Schwankungen -1 bis $+3$ km/h erreichen. Abbildung 16 (oben) zeigt die Zeitreihe der Geschwindigkeiten. Die obere Reihe beschreibt den Leicht-, die mittlere den

Gesamt- und die untere den Schwerverkehr. Die Geschwindigkeitsverteilungen 1976-78 und 1981-83 unterscheiden sich nach dem Kolmogoroff-Smirnoff-Test signifikant, womit gezeigt ist, dass die Geschwindigkeiten in diesen Jahren gestiegen sind. Weiter wurde auch festgestellt, dass die am Nachmittag gemessenen Geschwindigkeiten eine höhere jährliche Zuwachsrate (0,36 km/h) aufweisen als am Vormittag (0,02 km/h) (Abbildung 16, unten). Durch die Anwendung eines Effekte-Modells konnte errechnet werden, dass verkehrsstärkebereinigt das Geschwindigkeitsniveau am Nachmittag 3 km/h über dem am Mittag liegt. Dies alles ist auf einen höheren Leichtverkehrsanteil und die höhere Zunahme der Geschwindigkeiten im Leichtverkehr zurückzuführen.

Abbildung 16 Deutschland: Geschwindigkeitsmessreihen, 1976-1983



Quelle: Keller et al. (1985)

In einem Artikel wiesen Hotop, Keller und Linde (1983) darauf hin, dass die kurzfristigen, halbjährlichen Schwankungen der Geschwindigkeiten wohl auf die Preisschwankungen des Treibstoffes zurückzuführen sind. So konnte bei Erhöhung des Kraftstoffpreises eine kurzfristige Geschwindigkeitsreduktion festgestellt werden.

4.2.4 1980-1990

USA

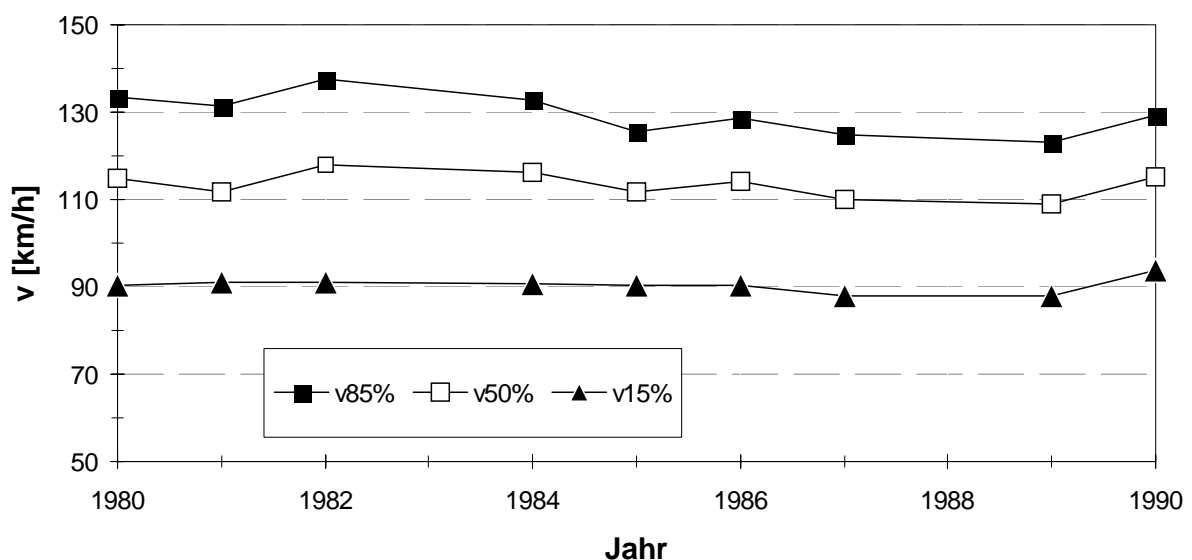
1985 veröffentlichte das Transport Research Board ein neues HCM. Darin wurden wiederum die empirischen Daten der Jahre zuvor zu einem Handbuch zusammengefasst. Aufgrund veränderter Gegebenheiten des Verkehrs ist der Ansatz der Geschwindigkeitsbetrachtung im Vergleich zum HCM 1965 anders. Konnte man im HCM 1965 noch Summenkurven oder Zeitreihen finden, so liegt der Fokus nun mehr auf Betrachtungen der Verkehrsqualität. Dies hat vor allem zwei Gründe. Zum einen wurde die Geschwindigkeitsentwicklung durch die Einführung von Beschränkungen aufgehalten, zum anderen sind Qualitätsbetrachtungen aufgrund des immer weiter wachsenden Verkehrs von grosser Wichtigkeit. Es wird erwähnt, dass sich die Geschwindigkeiten der PW auf den Autobahnen im freien Verkehr leicht über den Limiten, die über die Jahre gleich geblieben sind, bewegen. Die LKW fahren allerdings etwas langsamer als die Limiten, was insgesamt zu einer Durchschnittsgeschwindigkeit nahe am Wert der Geschwindigkeitsbeschränkung führt.

Schweiz

Abbildung 14 zeigt die Geschwindigkeitszeitreihe bis ins Jahr 1996. Es ist zu bemerken, dass die Daten von automatischen Messungen der permanent eingerichteten Messstellen stammen. Es wurde jeweils bei freiem Verkehr gemessen. Ebenso wie in der USA zeigt sich auch in der Schweiz, dass durch die Einführung der Geschwindigkeitsbeschränkungen der steigenden Entwicklung Einhalt geboten wurde und somit die Geschwindigkeiten in etwa gleich blieben. Mit der zunächst provisorischen Änderung der Höchstgeschwindigkeit von 130 auf 120 km/h per 1.1.1985 passte sich auch die Durchschnittsgeschwindigkeit an. In den Jahren 1982-1984 sanken die Geschwindigkeiten bereits ohne gesetzlichen Einfluss, vielleicht weil man unter anderem aus Gründen des Umweltschutzes von einer möglichen Einführung des Tempos 120 sprach.

Per 20.12.1989 setzte der Bundesrat dann die Höchstgeschwindigkeiten auf 120 km/h fest. In Ergänzungsuntersuchungen zum Thema ‚Tempo 80/120‘ untersuchte das IVT das Geschwindigkeitsverhalten der PW auf Schweizer Autobahnen. Abbildung 17 zeigt die Zeitreihe der PW-Geschwindigkeiten über die Jahre 1984 (Tempo 130) bis 1990. Mit halbjährlichen Schwankungen von im Mittel \pm 3% zeigen die Geschwindigkeiten einen einheitlich steigenden Verlauf. Die 1990 erfassten Geschwindigkeiten sind die höchsten seit Einführung der neuen Limite und liegen nur unwesentlich unter den bei Tempo 130 gemessenen Werten. Als Mittelwert der Geschwindigkeit im freien Verkehrsfluss über die Jahre 1980-1989 wurde 113 km/h errechnet.

Abbildung 17 Schweiz: Geschwindigkeitsentwicklung PW auf Autobahnen, 1980-1990



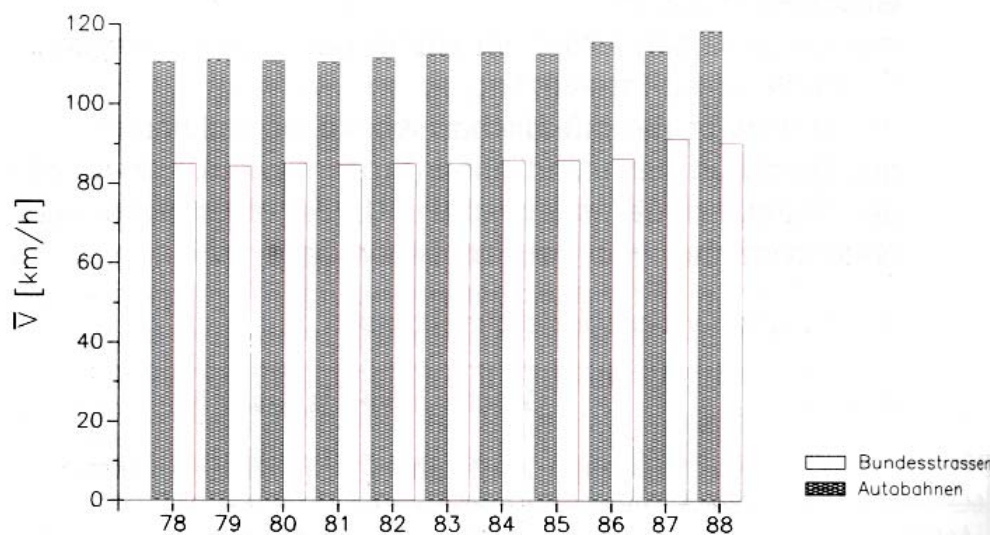
Datenquelle: automatische Messstellen Astra

Deutschland

Die im Abschnitt 4.2.3 erwähnten Untersuchungen umfassen die Jahre bis 1983. In den folgenden Jahren wurden mit den automatischen Messstellen weiterhin Daten erhoben. Heide-

mann (1989) wertete diese mittels eines varianzanalytischen Modells aus. Die Daten wurden speziell auf Haupteffekte des Zeitpunktes (Jahr, Monat, Wochentag) und der Zählstelle untersucht. Es zeigten sich ein deutliches Absinken des Geschwindigkeitsniveaus in den Wintermonaten sowie ein insgesamt ansteigender Trend über die Jahre. Für einzelne Strecken allerdings lagen aber teilweise auch andere Entwicklungen vor. Dies wurde durch eine gegebene Signifikanz des Faktors Zählstellen erkannt. Abbildung 18 zeigt die mittleren Fz-Geschwindigkeiten nach Jahren bereinigt um alle anderen Einflussgrößen.

Abbildung 18 Deutschland: Autobahn, Geschwindigkeitsmessreihen, 1978-1988



Quelle: Heidemann (1989)

Die mittlere Geschwindigkeit auf den Autobahnen ist von 1978 bis 1988 um etwa 8 km/h angestiegen, wobei allein in den Jahren 1986-1988 die Zunahme 3 km/h betrug. Die Abnahmen in den Jahren 80/81 und 85 sind wohl durch die gestiegenen Treibstoffpreise resp. den Abgas-Grossversuch zu erklären. Die mittleren Geschwindigkeiten in den Wintermonaten Dezember bis Februar liegen deutlich tiefer als in den anderen Monaten. Die maximale Differenz liegt hier bei 11 km/h.

4.2.5 1990-2000

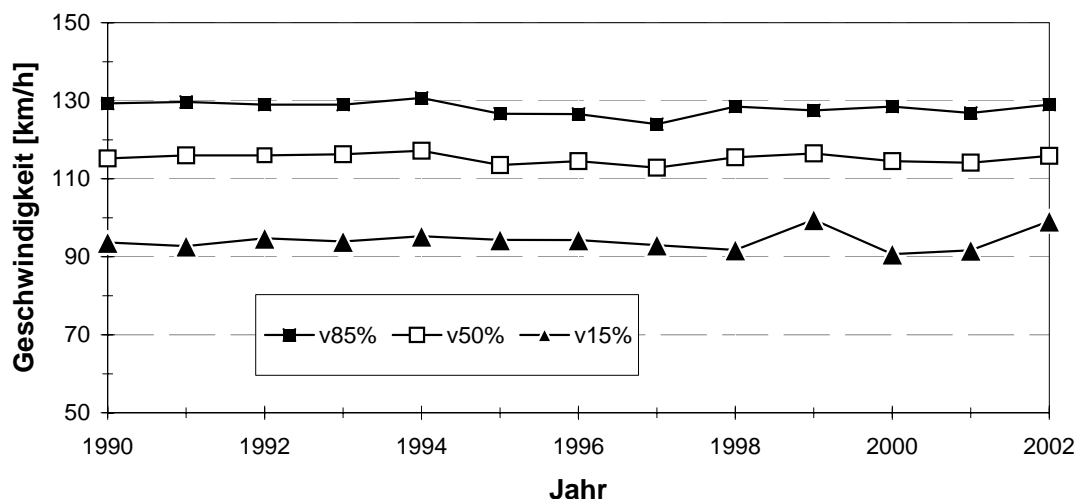
USA

Es sei hier auf das Diagramm in Abbildung 44 verwiesen, welches den Verlauf der Geschwindigkeit abhängig vom *free flow speed* (FFS) und der Verkehrsmenge zeigt. Dabei wird davon ausgegangen, dass bis zu einer gewissen Verkehrsstärke die Geschwindigkeiten der projektierten FFS entsprechen, um ab diesem Punkt abzufallen. Die im HCM 2000 aufgeführten FFS umfassen einem Bereich von 70-120 km/h.

Schweiz

In den Jahren 1990-2002 (Abbildung 19) sind die Geschwindigkeiten fast konstant geblieben. Die Tempolimit 120 km/h scheint akzeptiert. Dennoch fährt ein beträchtlicher Teil der Verkehrsteilnehmer (Kurve $v_{85\%}$) schneller als die erlaubte Höchstgeschwindigkeit. Als Mittelwert der Geschwindigkeiten im freien Verkehr über die Jahre 1980-1989 wurde 115 km/h errechnet.

Abbildung 20 Schweiz: Geschwindigkeitsentwicklung PW auf Autobahnen, 1990-2002

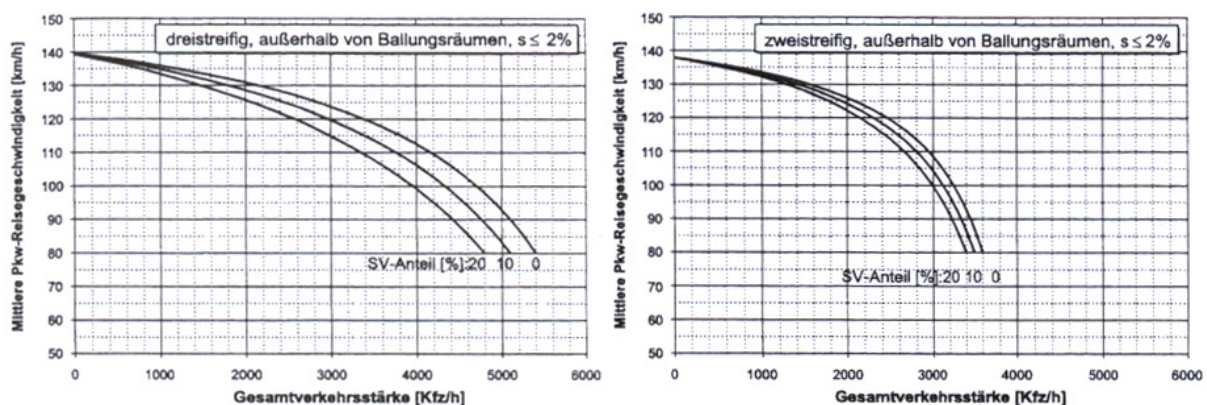


Datenquelle: automatische Messstellen Astra

Deutschland

Mit dem HBS 2001 wurde in Deutschland erstmals ein umfassendes Regelwerk zur Bemessung von Strassen eingeführt. Darin finden sich empirisch basierte q-v-Diagramme für PW-Reisegeschwindigkeiten auf Autobahnen und Landstrassen verschiedener Steigung und Geschwindigkeitsbegrenzung. Es sind jeweils 3 Kurven mit verschiedenen Schwerverkehrsanteilen aufgeführt. Abbildung 21 zeigt die Kurven für eine 3-spurige und eine 2-spurige Autobahn ohne Steigung ($< 2\%$) und ohne Geschwindigkeitsbegrenzung. Im Bereich geringer Verkehrsstärken zeigen sich relativ hohe Geschwindigkeiten bis 140 km/h welche über denjenigen der Schweiz oder der USA liegen. Mit höheren Verkehrsstärken und zunehmender gegenseitiger Behinderung gleichen sich die Kurven den in anderen Ländern gemessenen mehr und mehr an.

Abbildung 21 Deutschland: mittlere PW-Reisegeschwindigkeiten mit Steigung $< 2\%$



Quelle: HBS (2001), S. 3-11, 3-13

4.3 Geschwindigkeiten auf 2-spurigen Landstrassen 1950-2000

Anders als bei Autobahnen ist bei 2-spurigen Landstrassen die räumliche Trennung der beiden Richtungsfahrbahnen nicht gegeben. Der Gegenverkehr hat somit einen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit und die Geschwindigkeitsverteilung, insbesondere im Bereich der Leistungsfähigkeit. Dies ist dadurch bedingt, da das Überholungen, dem einzelnen Verkehrsteilnehmer die individuelle Geschwindigkeitsgestaltung ermöglichen, aufgrund des Gegenverkehrs selten möglich ist. So bestimmt das langsamste Fahrzeug an der Spitze der Kolonne die

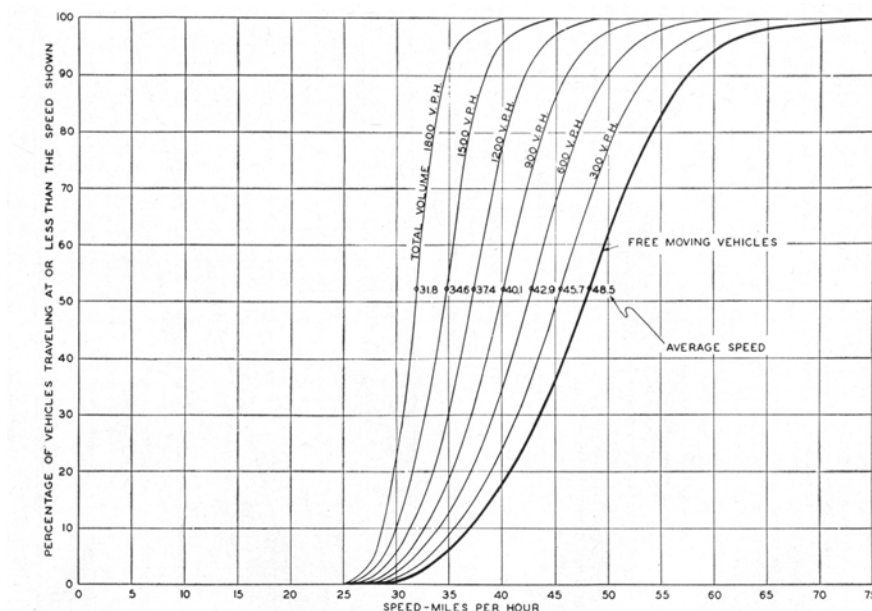
Geschwindigkeit der folgenden Fahrzeuge. Aus diesen Überlegungen wurde der Begriff der Leistungsfähigkeit als Summe der beiden Richtungen definiert.

4.3.1 1950-1960

USA

Zu den Daten des HCM 1950 ist gleiches zu bemerken wie in Abschnitt 4.2.1: Die Daten und Kurven aus dem HCM sind an verschiedenen Strecken mit wahrscheinlich etwas differierenden Randbedingungen aufgezeichnet worden. Daher eignen sie sich für grundsätzliche Überlegungen und erlauben Aussagen über die mittlere Geschwindigkeit und deren Verteilung, nicht aber über den Einfluss äusserer Faktoren. Abbildung 22 zeigt die Geschwindigkeitsverteilung abhängig von der Verkehrsstärke auf 2-spurigen *rural highways*, die in etwa einer nicht richtungstrennten Landstrasse entspricht. Die gefahrenen Geschwindigkeiten bewegen sich zwischen 51 km/h bei einer Belastung von 1800 Fz/h (über beide Richtungen) und 78 km/h bei freiem Verkehrsfluss.

Abbildung 22 USA: Geschwindigkeiten auf *rural highways*, 1950



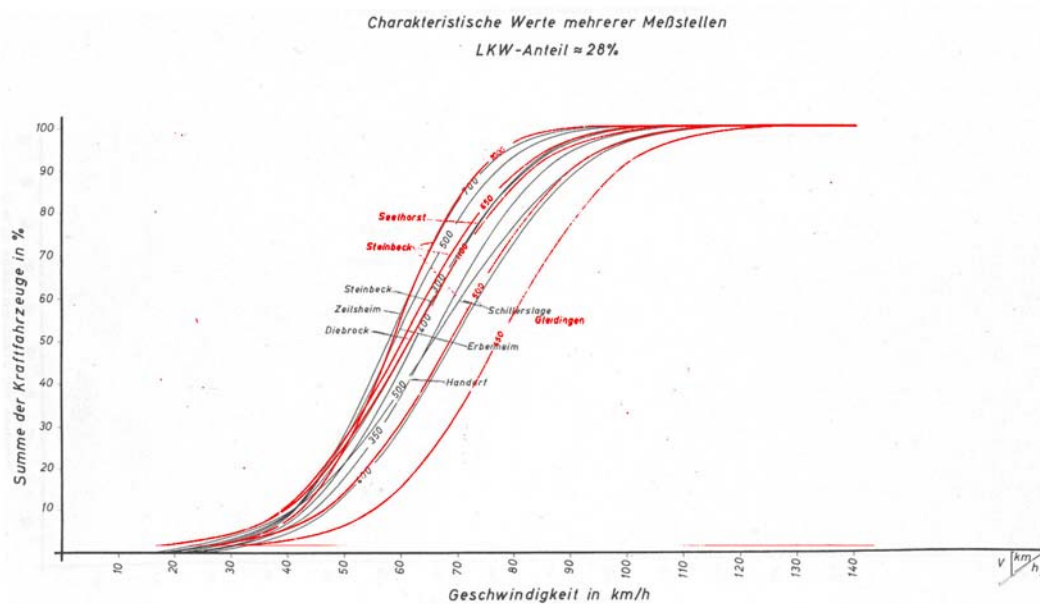
Quelle: HCM (1950), S. 32

Deutschland

Im Zusammenhang mit der bereits im Teil 3.2.1 erwähnten Untersuchung (Pampel, 1955) wurden auch Messungen auf einer 2-spurigen Bundesstrasse (B 40) durchgeführt. Allerdings ist der Stichprobenumfang für eine verlässliche Angabe zu klein. Die gefahrenen Geschwindigkeiten betragen zwischen 59.2 und 63.8 km/h bei Verkehrsstärken von 762 bis 1162 Fahrzeugen für beide Richtungen, sind also in der gleichen Grössenordnung wie in den USA.

Prof. Schlums (TH Hannover) untersuchte im Jahre 1955 den Verkehrsablauf von Landstrassen. Auch hier standen Leistungsfähigkeitsüberlegungen im Vordergrund, jedoch wurden auch Geschwindigkeiten aufgezeichnet. Es ist aber zu bemerken, dass die Verkehrsstärken doch recht gering sind. In Abweichung zur Schweiz oder USA galt auf den Strassen für Fahrzeuge über 2,5t Gesamtgewicht die Höchstgeschwindigkeit 60 km/h, die auch weitgehend eingehalten wurde. Abbildung 23 ist eine Überlagerung der Geschwindigkeitsverteilungskurven mit (rote Kurven) und ohne LKW-Anteil (schwarze Kurven). Trotz Tempolimiten für Lastwagen bewegen sich die Verteilungen im gleichen Bereich. Dies ist wohl auf die geringen Verkehrsstärken zurückzuführen. Die Geschwindigkeiten sind in der gleichen Grössenordnung wie die, welche im HCM 1950 dokumentiert sind.

Abbildung 23 Deutschland: Geschwindigkeitsverteilung mit und ohne (rot) LKW, 1955

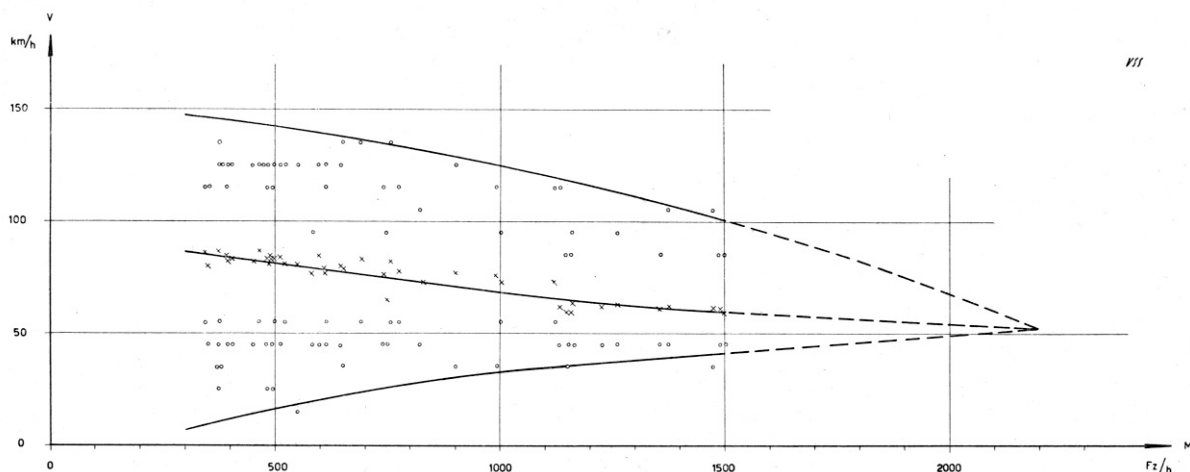


Quelle: Schlums (1955), S. 20f

Schweiz

In der Schweiz führte Rotach (1957) Messungen zum Verkehrsablauf auf Landstrassen durch. Dabei lag der Fokus ebenfalls auf der Leistungsfähigkeit, einer Grösse, die noch nicht genau festgelegt werden konnte. So wurden dann auch Messtage mit erfahrungsgemäss hohen Verkehrsstärken gewählt. Die Grafiken geben die Aufzeichnungen wieder, die jeweils rund um Messeveranstaltungen (OLMA, Autosalon Genf, Mustermesse Basel) gemacht wurden. Es herrschte Wochenendverkehr ohne LKW mit einem für damalige Verhältnisse geringen Motorradanteil von ca. 20%. Abbildung 24 zeigt die mittleren und extremen Geschwindigkeiten für verschiedene Volumina auf der Strecke von und zum Autosalon. Die Umhüllende soll zeigen welche Geschwindigkeiten möglich sind. Die mittlere Linie steht für die Durchschnittsgeschwindigkeit.

Abbildung 24 Schweiz: q-v-Diagramm aus Messungen von Rotach, 1957



Quelle: Rotach (1957), S. 19

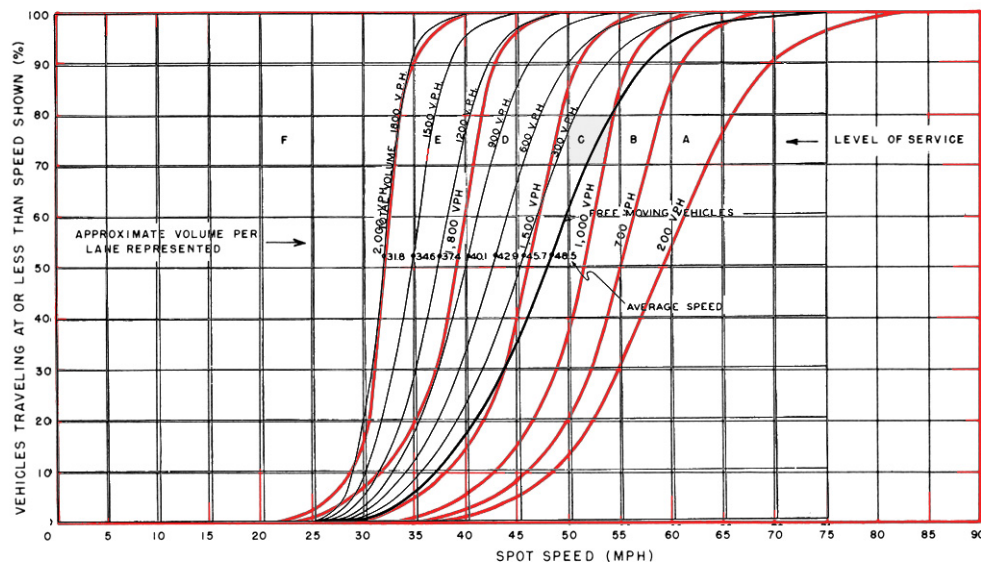
4.3.2 1960-1970

USA

Auf gleicher Basis wie die in Abschnitt 4.2.2 aufgeführten Daten wurden im HCM (1965) auch Geschwindigkeitsverteilungen von 2-spurigen Gegenverkehrstrassen aufgezeichnet. Die Daten stammen ebenfalls aus verschiedenen Studien und wurden zu einem Diagramm

(Abbildung 25, rote Linien) zusammengefasst. Der Unterschied ist jedoch, dass die Verkehrsstärken für beide Richtungen (gegenseitige Beeinflussung) zusammengeführt wurden.

Abbildung 25 USA: Geschwindigkeitsverteilung auf *rural highways*, 1950 und 1965 (rot)



Typical distribution of passenger car speeds for both directions of travel under ideal uninterrupted flow conditions on two-lane rural highways.
(Source: BPR, combined data from various studies)

Quelle: HCM (1950 und 1965)

Abbildung 25 zeigt auch den Vergleich zwischen den Jahren 1950 (schwarz) und 1965 (rot). Im Bereich der wenig belasteten Strasse zeigt sich eindeutig eine Erhöhung der Geschwindigkeiten, die wohl auf die technisch verbesserten Fahrzeuge und stärkere Vertrautheit der Leute mit dem PW zurückzuführen ist. Diese Erhöhung nimmt mit grösser werdenden Verkehrsstärken ab, bleibt aber auch bei Grössen von 2000 Fz/h vorhanden. Es ist zu beachten, dass die Verkehrsstärken der Summenkurven nicht exakt übereinstimmen.

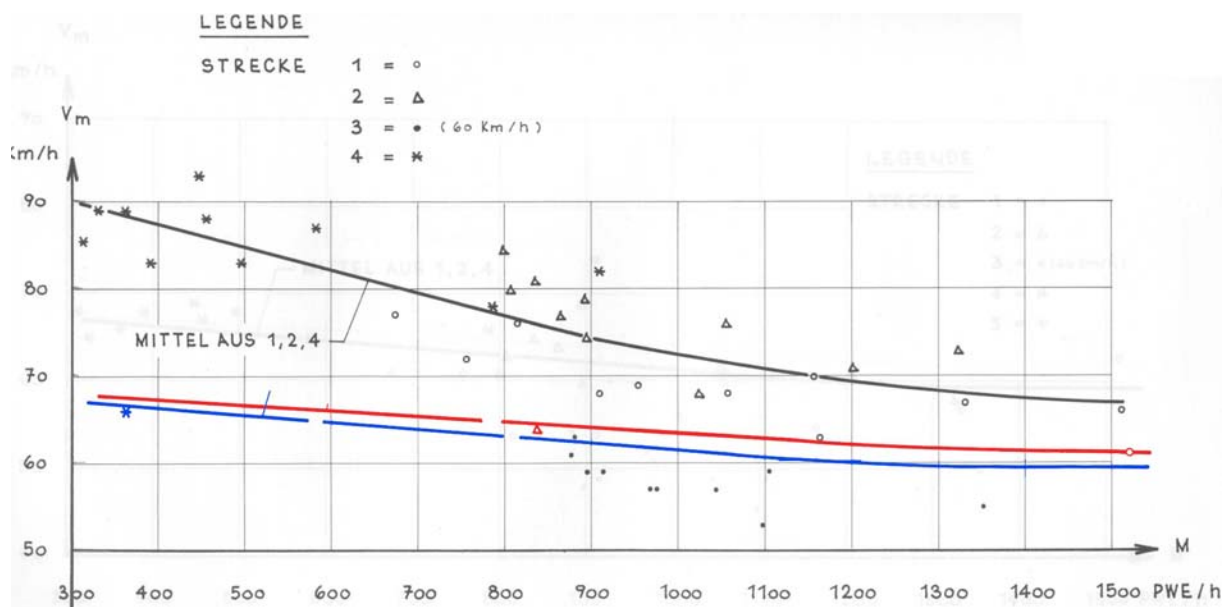
Deutschland

Es wurden keine entsprechenden Arbeiten gefunden.

Schweiz

Wie in Deutschland zeigt sich auch hier eine Lücke in der Literatur. Einzig 1960 veröffentlichte Rotach die Arbeit „Geschwindigkeiten auf 2-spurigen Überlandstrassen“ mit Messdaten aus dem Jahr 1959. Aufgrund der Tatsache, dass die Daten aus dem HCM 1965 wohl auch Messungen um das Jahr 1960 umfassen, wird diese Untersuchung hier aufgeführt.

Abbildung 26 Schweiz: mittlere Geschwindigkeit, 1960



Quelle: Rotach, (1960), S. 29ff; Verkehrsstärke von PW und LKW(blau)/Motorräder (rot)

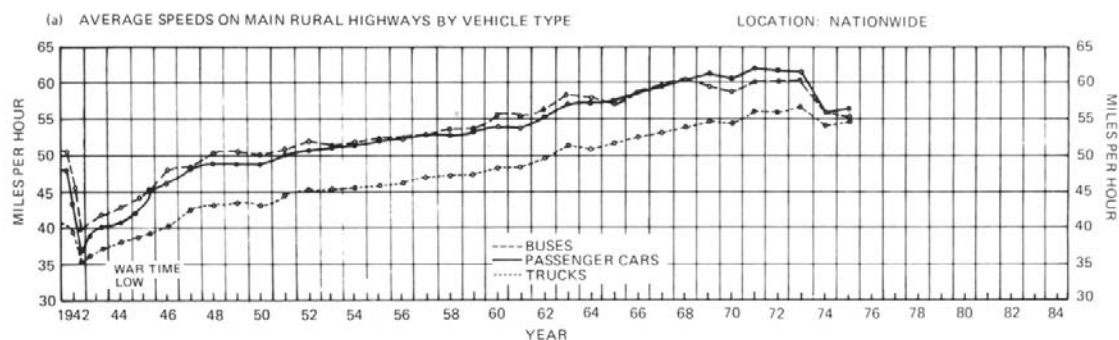
Der Anteil der LKW betrug je nach Messstrecke zwischen 8 und 15%, der Motorräder knapp 10%. Die Strassen genügen den Anforderungen nach „idealen Bedingungen“. Die Messungen erfolgten jeweils freitags. Auf der Strecke 3, Innerorts, herrschte die Maximalgeschwindigkeit 60 km/h. Diese wurde allerdings für die Mittelung der Werte (Kurven im Diagramm, Abbildung 26) ausser Acht gelassen. Der Geschwindigkeitsunterschied zwischen PW, LKW und Motorrädern im unteren Verkehrsstärkenbereich ist mit rund 20 km/h hoch, sinkt dann aber durch die gegenseitige Beeinflussung stetig ab.

4.3.3 1970-1980

USA

Abbildung 27 zeigt einen stetigen Zuwachs der Geschwindigkeiten, der aber durch die Einführung des Tempolimits 1973 (55 mph) gebrochen wird. Bis 1973 waren die LKW 7-8 mph oder rund 12 km/h langsamer als die PW und Busse. Auch nach der Krise hielt man aufgrund der Reduktion der Anzahl und Schwere der Unfälle an der 55 mph-Limite fest. Jedoch zeigte sich, dass nach der Ölkrise wieder schneller (60 mph) gefahren wurde. Die Messdaten wurden bei freiem Verkehrsfluss erhoben.

Abbildung 27 USA: mittlere Geschwindigkeiten auf *rural highways*, 1942-1975



Quelle: HCM (1985)

Schweiz

In diesem Zeitraum wurden in der Schweiz keine systematischen Messungen durchgeführt.

Deutschland

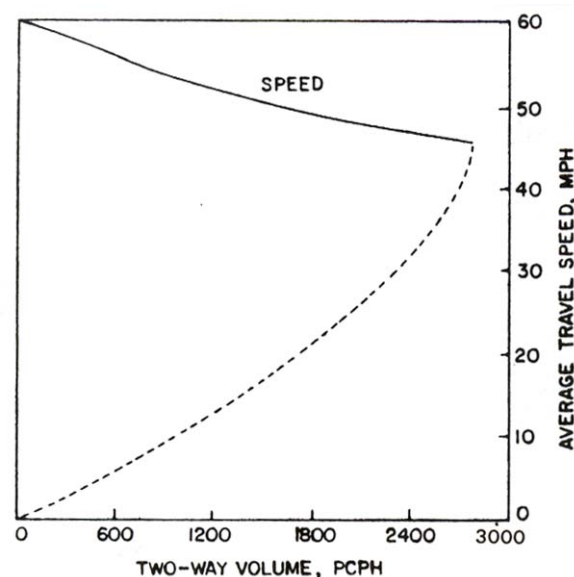
Es wurden keine entsprechenden Daten oder Untersuchungen gefunden.

4.3.4 1980-1990

USA

Aus Abbildung 28 kann der Verlauf der mittleren Geschwindigkeiten abhängig von der Verkehrsstärke unter idealen Bedingungen für 2-spurige Landstrassen in den USA entnommen werden. Die Geschwindigkeiten fallen kontinuierlich bis zur Leistungsfähigkeit von ca. 2800 Fz. Danach herrscht instabiler Verkehrsfluss mit Staubildung.

Abbildung 28 USA: q-v-Funktion für *two-lane rural highways*, 1985

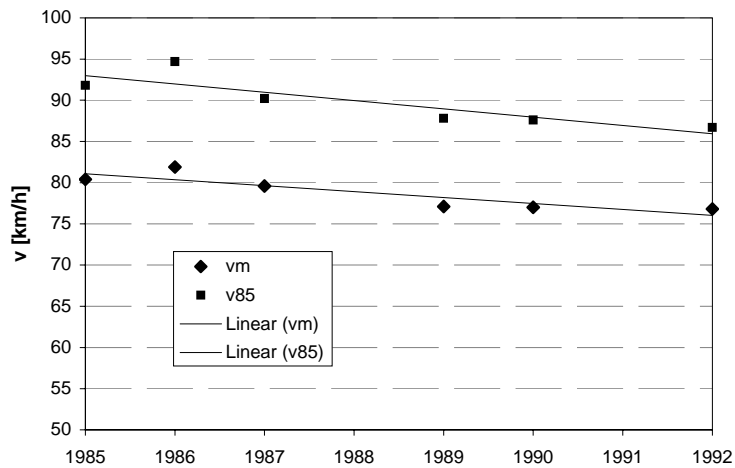


Quelle: HCM (1985)

Schweiz

1985 wurde in der Schweiz die Geschwindigkeitsbegrenzung auf Landstrassen von Tempo 100 auf 80 gesetzt. Anlässlich der Untersuchung von Lindenmann und Zuberbühler (1993) wurden auf verschiedenen Strecken Messungen durchgeführt. Diese wurden unter idealen Bedingungen, bei guter Witterung und geringem Verkehrsaufkommen ermittelt. Die Daten wurden über den Zeitraum 1987-1992 gemessen. Bei der Zeitreihenanalyse wurde auf Hauptstrassen ausserorts ein Rückgang von 0,72 km/h (v_m) resp. 1 km/h (v_{85}) pro Jahr (1985-1992) festgestellt.

Abbildung 29 Schweiz: Geschwindigkeitsentwicklung auf Hauptstrassen, 1985-1992

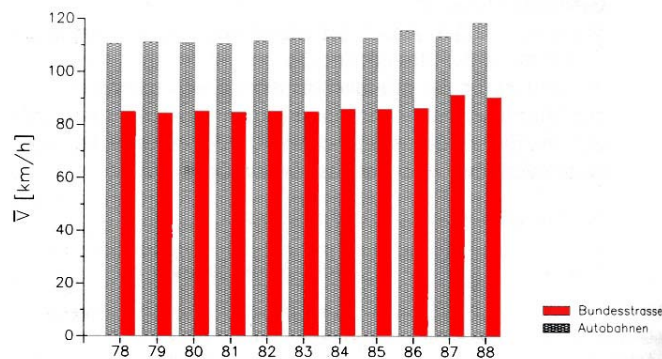


Daten aus Lindenmann und Zuberbühler (1993)

Deutschland

Heidemann (vergleiche 4.2.4, D) untersuchte auch die Messdaten auf Bundesstrassen. Es zeigen sich die gleichen Trends wie schon bei den Autobahnen: langsam steigende Geschwindigkeiten und Schwankungen zwischen Winter- und Sommermonaten.

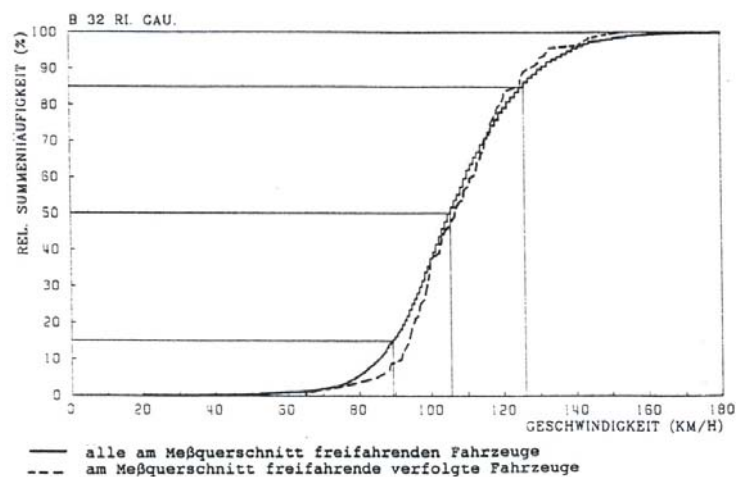
Abbildung 30 Deutschland: Geschwindigkeitsmessreihen auf Bundesstrassen, 1978-1988



Quelle: Heidemann (1989)

Anhand von bei Verfolgungsfahrten aufgenommenen Messdaten versuchte Buck (1992) mittels einer multiplen Regression die wichtigsten Abhängigkeiten bei der Geschwindigkeitswahl auszuweisen. Zunächst untersuchte er, wie sich Messdaten auf freier Strecke aus Verfolgungsfahrten von denen einer festen Messeinrichtung unterscheiden. Abbildung 31 zeigt einen solchen Vergleich anhand zweier Summenkurven, welche sich nicht signifikant voneinander unterscheiden. Die Strecke ist die B32, eine zügig trassierte Strecke mit sehr geringer Kurvigkeit und Steigung. Daher sind die gemessenen Geschwindigkeiten eher hoch. Abbildung 31 zeigt, dass, wie in 5 der 8 Messungen gegeben, keine signifikanten Unterschiede zwischen den zwei Messmethoden vorliegen.

Abbildung 31 Vergleich Geschwindigkeitssummenkurven aus verschiedener Messarten



Quelle: Buck (1992), S. 28

Die Analyse der Einflussgrößen kam zu folgenden Ergebnissen: Fahrzeuge mit starker Motorisierung weisen in der Regel die höchsten Geschwindigkeiten auf. Bei den mittel und leicht motorisierten Fahrzeugen zeigt sich kein signifikanter Unterschied, wesentlich ist aber der Einfluss der Steigung. Bei den baulichen Einflussgrößen haben Kurvenradien grösser als 500m keinen Einfluss auf die Geschwindigkeiten, welche aber bei Radien unter 500m linear abnehmen. Die lokalen Anhaltesichtweiten haben erst bei einer Sichtweite von unter 150m Einfluss. Keinen Einfluss haben Steigungen beziehungsweise Gefälle unter 2%.

4.3.5 1990-2000

USA

Im HCM 2000 wird eine Formel zur Berechnung der durchschnittlichen Geschwindigkeit angegeben. Diese basiert auf der *free-flow speed* (FFS_d) und berücksichtigt das Verkehrsaufkommen beider Richtungen (v_d, v_o) und eine Anpassung für „nicht-überhol“-Zonen (f_{np}):

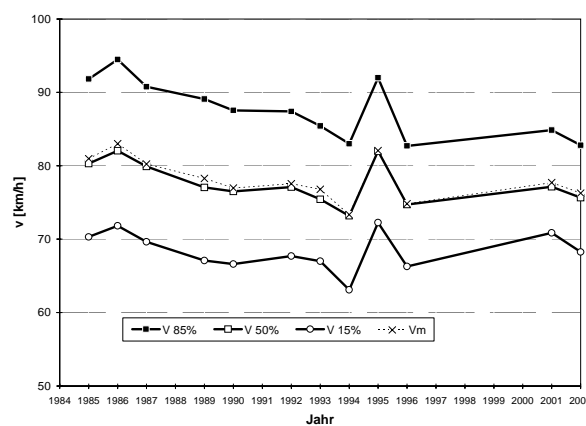
$$ATS_d = FFS_d - 0.0125(v_d + v_o) - f_{np}$$

Aus der Formel ist herauszulesen, dass, sofern keine Überholeinschränkungen gelten, pro 100 Fz die Geschwindigkeit um 1,25 mph oder 2 km/h sinkt.

Schweiz

Die im vorherigen Abschnitt festgestellte Geschwindigkeitsabnahme auf Landstrassen im freien Verkehr (Tempo 80) in der Schweiz setzte sich in den Folgejahren fort. In jüngster Zeit (ab 1996) nahmen die Geschwindigkeiten wieder leicht zu. Bei der Auswertung des Datenmaterials wurde festgestellt, dass der Anteil der Geschwindigkeitsübertretungen von über 45% 1985 auf rund 25% 2002 zurückgegangen ist.

Abbildung 32 Schweiz: Entwicklung Geschwindigkeiten Landstrassen, 1984-2002



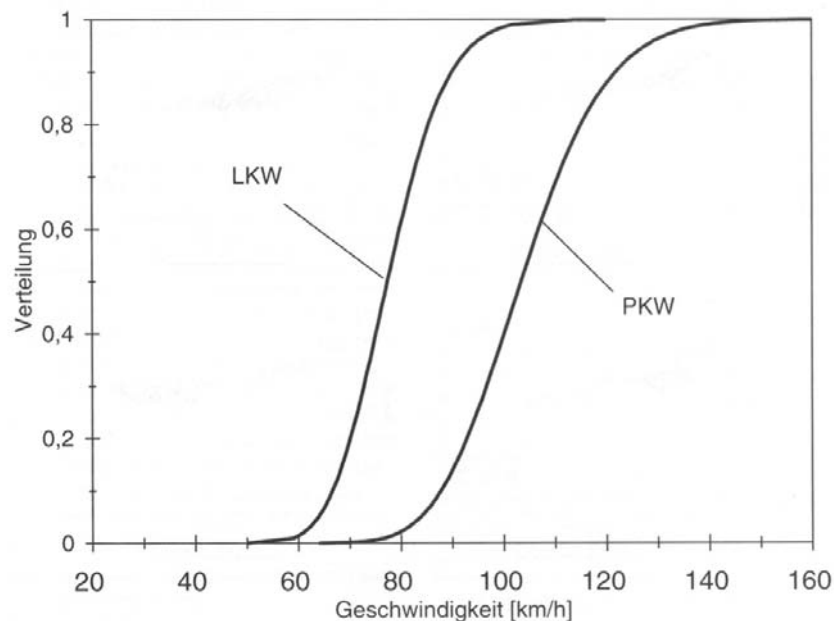
Quelle: Daten von automatischen Messstellen, IVT ETHZ

Deutschland

Brilon und Weiser (1997) untersuchten das Geschwindigkeitsverhalten auf Landstrassen. Auf der Basis von Messungen in den Jahren 1994 und 1995 verfassten Brilon und Weiser den Bericht *Ermittlung von q-v-Diagrammen für zweistreifige Strassen ausserhalb geschlossener Ortschaften*. Darin findet sich auch eine Geschwindigkeitssummenkurve aus Daten einer als schnell bekannten Strecke unter freiem Verkehr (Abbildung 33). Diese Grafik zeigt nur einen Ausschnitt der Messungen. Eine repräsentativere, weil aggregierte Datengrundlage, findet sich als graue Punktmenge in der Abbildung 52 in Abschnitt 6.3.3. Die dort abgebildeten Geschwindigkeiten bewegen sich, je nach Verkehrstärke, im Bereich 70-100 km/h.

Im HBS 2001 sind dann für verschiedene Steigungen, Kurvigkeiten und Schwerverkehr-Anteile entsprechende Kurven aufgeführt. Ein Beispiel findet sich in Abschnitt 6.3.5, die Geschwindigkeiten bewegen sich im Bereich von knapp 70 - 100 km/h.

Abbildung 33 Deutschland: Geschwindigkeitssummenkurve unter freiem Verkehr, 1995



Quelle: Brilon und Weiser (1997)

4.4 Geschwindigkeiten auf Stadt- und Nebenstrassen

Schweiz

Nach der Änderung der Geschwindigkeitsbegrenzung auf Hauptstrassen Innerorts von 60 km/h auf 50 km/h im Jahr 1980 wurden Messungen durchgeführt. Weitere Messungen folgten in den Jahren 1991 und 1992. In den Jahren nach der Einführung der Begrenzung waren die Durchschnittsgeschwindigkeiten mit 55,1-57,5 km/h im Zentrum und 58,8-60,5 km/h ausserhalb des Zentrums eindeutig höher als gesetzlich erlaubt. Die Messungen in den 90-er Jahren zeigen geringere Geschwindigkeiten: 49 km/h im Zentrum und 57,5 km/h ausserhalb.

In den Jahren 1991 und 1992 wurden auch Messungen auf anderen Strassen durchgeführt. Tabelle 4 gibt Auskunft über die Anzahl der Messstellen, die jeweils über die verschiedenen Messstrecken gemittelten v_{15} , v_{50} und v_{85} , sowie v_m und die Streuung. An einer Messstelle wurde jeweils mindestens eine Stunde gemessen oder solange, bis mehr als 100 Fahrzeuge erfasst worden sind.

Tabelle 4 Schweiz: Geschwindigkeiten auf verschiedenen Strassentypen, 1991/1992

Strasse	n	v_{15}	v_{50}	v_{85}	v_m	s
Wohngebiet Zone 30	12	25.5	36	41.8	33.3	7.8
Erschliessungsstrasse (50 km/h)	9	21.6	28.8	38	29.9	8.3
Sammelstrasse (50 km/h)	14	30.8	42.4	47.9	40.6	6.4
Hauptstrasse im Zentrum (50 km/h)	10	35	41.9	49.5	42.3	7.5
Hauptstrasse ausserhalb Zentrum (50 km/h)	11	44	51.9	60.2	52	8.7
Hauptstrasse innerorts (60 km/h)	9	48.2	54.7	61.2	54.7	7.2
Verbindungsstrasse (80 km/h)	8	62.4	72.6	82.3	72.5	10.9
Hauptstrasse ausserorts (80 km/h) (1987-92)	61	67.2	77.1	88.2	77.7	11.1
Autobahnen (120 km/h)	38	92.3	114.2	127.9	112.2	16.6

Quelle: Lindenmann und Zuberbühler (1993)

5 Zusammenfassung Geschwindigkeiten

Eine Vereinfachung auf eine Durchschnittsgeschwindigkeit gestaltet sich aufgrund der Vielzahl der Einflussfaktoren schwierig. Dennoch ist, um die Entwicklung klar und einfach darzulegen, die Angabe einer Richtzahl notwendig. Im Folgenden werden, sofern genügend Datengrundlagen vorhanden sind, eine Geschwindigkeitsspanne und allfällig wichtige Randbedingungen wie Berücksichtigung der LKW angegeben. Der untere Wert ist die mittlere Geschwindigkeit, die, sofern nicht anders bemerkt, unter hoher Verkehrstärke gemessen worden ist. Der obere Wert gibt die mittlere Geschwindigkeit bei geringer Verkehrstärke wieder (siehe Tabelle 5 und 6).

Einen schnellen Überblick über die Geschwindigkeitsentwicklung geben die Zeitreihen, die bereits als verschiedene Abbildungen in diesem Bericht aufgeführt sind. Bei der Betrachtung muss jedoch beachtet werden, dass es sich um aggregierte Werte handelt, und nur selten in der Literatur genau beschrieben wurden, auf Basis welcher Untersuchungen diese Kurven entstanden sind. Dies ist insbesondere beim Vergleich verschiedener Zeitreihen zu beachten.

1950-1960

Diese Zeit lässt sich als Pionierzeit der Leistungsfähigkeitsforschung umschreiben. Mögliche Leistungsfähigkeiten wurden bis anhin nur theoretisch aufgrund von Überlegungen der Zeitlücken, Brems- resp. Beschleunigungsfähigkeiten und Überholmöglichkeiten abgeschätzt. Es wurde an Tagen der höchsten Belastungen gemessen, und selbst dann konnte von Überlastung meist keine Rede sein. Als Nebenprodukt dieser Messungen wurden Geschwindigkeiten und deren Verteilungen aufgezeichnet. International können die Geschwindigkeiten als vergleichbar angesehen werden. Es ist jedoch zu beachten, dass das Geschwindigkeitsregime sehr empfindlich auf externe Einflussgrößen reagiert (siehe Bewölkung/Regen in der Untersuchung von Rotach, 1960, LKW-Anteil bei Pampel, 1955).

1960-1970

In der Schweiz herrschte im Strassenverkehr in dieser Zeitperiode Aufbruchstimmung. Parallel dazu wurde an verschiedenen Stellen am Autobahnnetz gebaut und erste Teilstrecken eröffnet. Dabei wurden Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit und die damit zusammenhän-

gende Geschwindigkeit vernachlässigt. In den USA wurde mit dem HCM 1965 ein neues Standardwerk veröffentlicht, das erstmalig Qualitätsstufen (Level of Service) im Verkehr einführte und auf den Einfluss von LKW in Steigungen einging. Es ist zu beachten, dass die Datengrundlagen (HCM, 1965, Rotach, 1960) die Lage in den frühen 60er Jahren wiedergeben. Die Grafik von Köppel auf S. 26 zeigt aber, dass sich in dieser Dekade die Geschwindigkeiten rasant entwickelt haben.

1970-1980

Die Erdölkrise 1973 hatte grossen Einfluss auf das Geschwindigkeitsverhalten der Verkehrsteilnehmer. In den USA, Deutschland und der Schweiz wurden neue Geschwindigkeitsbegrenzungen eingeführt oder nach unten angepasst. Wegen diesen Begrenzungen zeigen sich Einschnitte in der langjährigen Entwicklung der Geschwindigkeiten. Nach diesem kurzfristigen Geschwindigkeitssturz steigen die Geschwindigkeiten weiterhin an. In der Schweiz wurden Geschwindigkeitsbegrenzungen nach der Krise angepasst belassen. In Deutschland führte man auf Autobahnen die nicht bindende Richtgeschwindigkeit 130 km/h ein.

1980-1990

Durch die verbreitete Einführung von Geschwindigkeitsbegrenzungen kam es zur Stagnation der in der 70er Jahren noch vorherrschenden Entwicklung zu höheren Geschwindigkeiten. Das Geschwindigkeitsgeschehen auf den Strassen wird durch die Begrenzungen bei freiem Verkehr und die gegenseitige Behinderung bei höheren Verkehrsstärken bestimmt.

1990-2000

Aufgrund grundsätzlich gleich gebliebenen Randbedingungen (Beschränkungen, Leistung der Fahrzeuge etc.) sind die Geschwindigkeiten für diese Dekade im gleichen Bereich wie 1980-1990.

Tabelle 5 Geschwindigkeiten Autobahn 1950-2000

Strassentyp	Land	Geschwindigkeitsspanne	Bemerkung
1950-1960	USA	75-90 km/h	
	CH		Keine Autobahn vorhanden
	D	65-80 km/h	
1960-1970	USA	60-92 km/h	
	CH		Keine Daten vorhanden
	D	95-120 km/h	30km/h Zunahme in 10 Jahren
1970-1980	USA	80-100 km/h	
	CH	86-131 km/h ¹	im freien Verkehr, inkl. LKW
	D	100-126 km/h	
1980-1990	USA	80-100 km/h	
	CH	90-130 km/h ¹	im freien Verkehr, inkl. LKW
	D	115-120 km/h	im freien Verkehr
1990-2000	USA	70-120 km/h	
	CH	94-128 km/h ¹	im freien Verkehr, inkl. LKW
	D	115-140 km/h	nur PW

¹ Mittelwert $v_{15\%}$ - Mittelwert $v_{85\%}$

Tabelle 6 Geschwindigkeiten Landstrasse 1950-2000

Strassentyp	Land	Geschwindigkeitsspanne	Bemerkungen
1950-1960	USA	50-93 km/h	
	CH	55-90 km/h	
	D	60-85 km/h	
1960-1970	USA	60-93 km/h	
	CH	65-90 km/h	
	D		Keine Messung vorliegend
1970-1980	USA		Keine Messung vorliegend
	CH		Keine Messung vorliegend
	D		Keine Messung vorliegend
1980-1990	USA	74-90 km/h	
	CH	75-80 km/h	inkl. LKW
	D	80-85 km/h	inkl. LKW
1990-2000	USA	70-90 km/h	
	CH	Keine Angaben	inkl. LKW
	D	70-100 km/h	nur PW

6 Entwicklung der Leistungsfähigkeit

6.1 Begriff der Leistungsfähigkeit

Schnabel und Lohse (1997) bieten in ihrem Standardwerk Strassenverkehrstechnik und Verkehrsplanung Band I eine gute Zusammenfassung über den Begriff der Leistungsfähigkeit:

Die grösstmögliche Verkehrsstärke die eine Strasse aufnehmen kann, wird Durchlassfähigkeit, Kapazität oder eben Leistungsfähigkeit genannt. Faktoren, welche die Leistungsfähigkeit beeinflussen sind:

- Bauliche Bedingungen (Spurbreite, -anzahl, Querschnittsgestaltung, Hochborde am Fahrbahnrand, Fahrbahnzustand, Sicht, Gradientenneigung, Krümmenhalbmesser)
- Verkehrliche Bedingungen (Verkehrsmischung, Fahreigenschaften der Fahrzeuge, Verkehrsart, Fahrgewohnheiten)
- Sonstige Bedingungen (Rechtliche Bestimmungen (zulässige Geschwindigkeit), Witterung, Wochentage, Tages-, Jahreszeit)

Pionierarbeit in der Berechnung der Leistungsfähigkeit leistete das HCM, wo 1950 erste umfassende Aussagen gemacht wurden. Es wurde die *possible capacity* als maximale Verkehrsstärke unter gegebenen verkehrlichen und baulichen Bedingungen festgelegt. Daneben wurde für absolut optimale Bedingungen der Begriff der grundlegenden Durchlassfähigkeit (*basic capacity*) eingeführt. Da sich solche Bedingungen aber in der Realität kaum vorfinden, fand die Durchlassfähigkeit in den späteren Berechnungsverfahren keinen Eingang.

Im HCM 1965 wurde dann das System der *Levels of Service* (LOS) eingeführt, welches in der Folge weltweit übernommen wurde. Mit dem LOS-System ist es möglich, einer Strasse entsprechend ihrer Bedeutung und Funktion eine zweckmässige Nutzungsstufe zuzuordnen. Bei der Einteilung eines Zustandes in eine LOS-Klasse (A-F) wird nicht unmittelbar von der Beziehung Verkehrsstärke und Geschwindigkeit ausgegangen, sondern der Sättigungsgrad g verwendet. Der Sättigungsgrad ist wie folgt definiert:

$$g = \frac{\text{vorhandene Verkehrsstärke } q}{\text{Leistungsfähigkeit}}$$

Die Einteilung in eine bestimmte Nutzungsstufe verlangt zwei Bedingungen: Zunächst muss die mittlere Fahrzeuggeschwindigkeit gleich oder grösser als der festgelegte Grenzwert sein. Dazu darf aber auch der Sättigungsgrad den Maximalwert dieser Nutzungsstufe nicht überschreiten. Tabelle 7 listet die Angaben der Durchlassfähigkeiten von Strassen, wie sie von den verschiedenen Quellen angegeben werden, auf.

Tabelle 7 Angaben zur Leistungsfähigkeit von Strassen

Quelle/Jahr	Leistungsfähigkeit bei idealen Bedingungen [Pkw/h]	
	2-spurige Landstrasse, Summe beider Richtungen	1 Fahrspur einer mehrspurigen Strasse (Autobahn)
HCM 1950	2000	2000
Korte 1960	2000	2000
TGL 11684/01 ¹	2000	2000
RAS-Q 1982	2000	1800 (1500) ²
HCM 1985	2200	1500 ³
HCM-Entwurf 1992	2500 ⁴	1850
Brilon et al. 1993	2800	2000
HCM 1994	-	2150
HCM 2000	max 2800	max 2300 ⁵

¹ TGL (Technische Güte und Lieferbedingungen), DDR-Norm, veröffentlicht 1978

² mehrspurige Strasse ohne Mittelstreifen

³ maximale Verkehrsstärke bei $v = 70$ km/h

⁴ maximale Verkehrsstärke bei $v = 40$ km/h

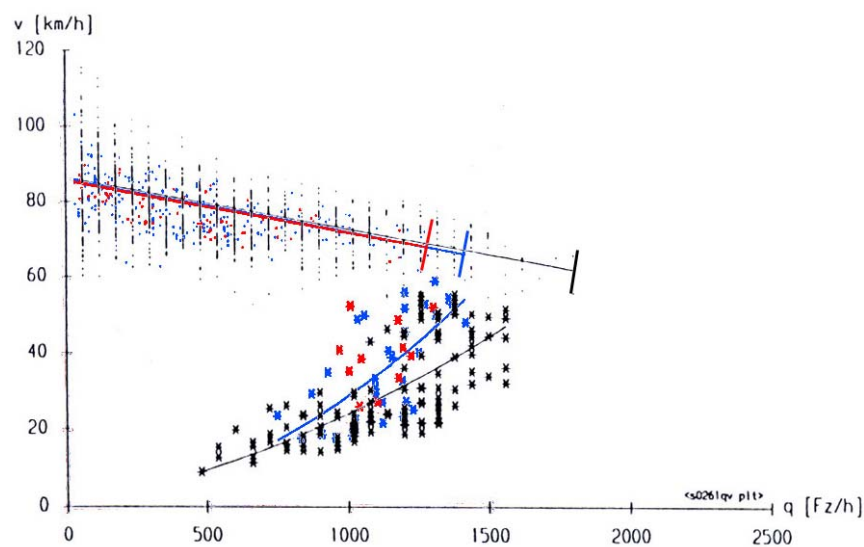
⁵ maximale Verkehrsflussrate in einem 15-min-Intervall (hochgerechnet auf 1 Std.)

Quelle: Schnabel und Lohse (1997), S. 96

Entscheidend für die Angabe einer maximalen Verkehrsstärke, respektive für die Herstellung eines q-v-Fundamentaldiagramms ist das Messintervall: Je kleiner das Messintervall, umso grösser wird die erwartete maximale Verkehrsstärke. Diese Regel wurde von Keller und Sachse (1991) bestätigt.

Abbildung 34 zeigt beispielhaft die Veränderungen, die sich durch die Änderung des Zeitintervalls einer Messung ergeben. Es handelt sich dabei um Daten, die im Sommer 1986 an einer Messstelle an der 2x2 Landstrasse (keine Autobahn) B2 bei Oberau, Deutschland erhoben wurden. Die Daten des gleichen Messtages wurden zu 1, 5, und 15min Intervallen zusammengefasst. Wie erwartet zeigen sich Unterschiede in der Reichweite der Regressionsgeraden, also der max. Verkehrsstärke und bei der Streuung der Messwerte. Gleich sind hingegen die Steigungen ($-0.014x$) der Regressionsgeraden. Gemäss Dietrich und Spacek (1994) gilt ein 5-minütiges Intervall als geeignet für die Bestimmung der Leistungsfähigkeit.

Abbildung 34 Abhängigkeit q-v-Diagramm vom Messintervall



Quelle: Sachse und Keller (1991)

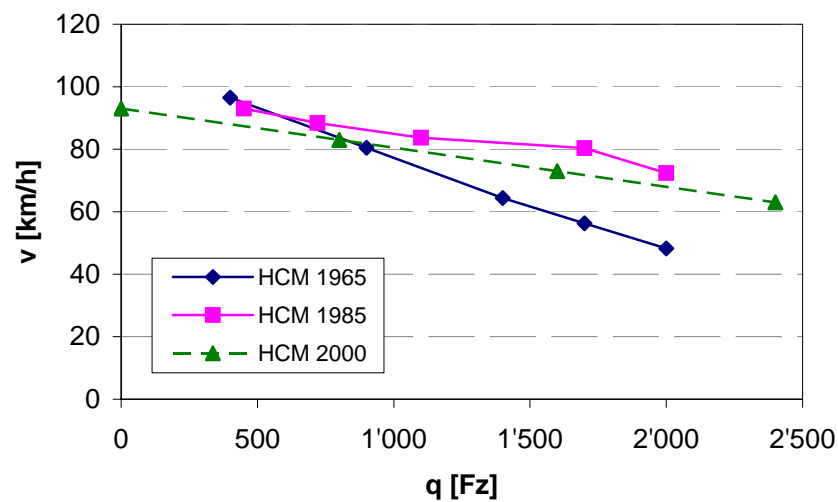
Tabelle 8 listet die LOS-Kriterien für 2-spurige Landstrassen (Gegenverkehr) der HCM 1965, 1985 und 2000 auf. Die Werte beziehen sich immer auf den Gesamtquerschnitt, also für beide Richtungen. Je nach Aufteilung auf die beiden Fahrbahnen müsste man noch mit Abminderungsfaktoren rechnen. Man kann sehen, dass die maximale Verkehrsstärke grösser wurde. Hingegen nahmen die den LOS A-C zugeordneten Werte ab. Es ist aber zu beachten, dass z.B. die Geschwindigkeitsanforderungen 1965 für einen Level C 64.4 km/h (40mph) bei einer Verkehrsstärke von 1400 Fz/h betragen, während eine solche Geschwindigkeit bereits 1985 nur noch einem D bei aber 1800 Fz/h entsprach. Diese Werte beweisen die Vermutung, dass mit steigender Verkehrsmenge, verbesserter Fahrzeugtechnik und grösserer Vertrautheit der Verkehrsmitteln PW und LKW, die bei einer bestimmten Verkehrsstärke gefahrenen Geschwindigkeiten gestiegen sind.

Tabelle 8 USA: Vergleich LOS auf Landstrassen HCM, 1965, 1985 und 2000

Level of Service	HCM 1965		HCM 1985 ¹		HCM 2000	
	v [km/h]	q [Fz/h]	v [km/h]	q [Fz/h]	v [km/h]	q [Fz/h]
A	≥ 96.5	400	≥ 96	420	≥90	1120
B	≥ 80.5	900	≥ 88.5	750	≥80	1600
C	≥ 64.4	1400	≥ 83.7	1200	≥70	1755
D	≥ 56.3	1700	≥ 80.4	1800	≥60	2160
E	≥ 48.3	2000	≥ 80.4	≥ 1700	≤60	2160
F	≤ 48.3	variabel	Stau	Stau	-	-

¹ Die Werte der Leistungsfähigkeit q sind für ideale Strassenbedingungen angegeben

Abbildung 35 USA: grafischer Vergleich LOS auf Landstrassen HCM, 1965, 1985, 2000



Daten aus HCM 1965, 1985, 2000

Die in Tabelle 9 aufgeführten Werte der Verkehrsstärke auf Autobahnen (*highway/freeway*) beziehen sich immer auf einen Fahrstreifen. Wie schon vorhin bezüglich der Landstrassen festgestellt, zeigt sich auch hier, dass die zu einem LOS gehörenden Geschwindigkeiten ge-

stiegen sind, wobei hier jeweils auch die Verkehrsstärken bei gleicher Geschwindigkeit grösser geworden sind.

Tabelle 9 USA: Vergleich LOS auf Autobahnen HCM, 1965¹, 1985 und 2000

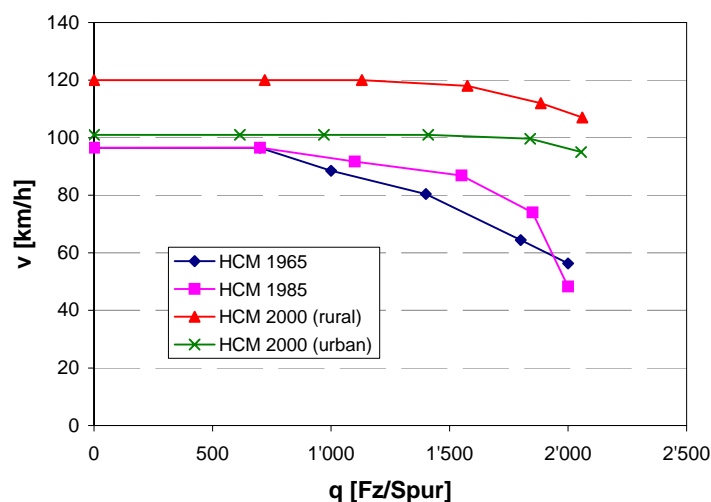
Level of Service	HCM 1965		HCM 1985 ²		HCM 2000 ³	
	v [km/h]	q [Fz/h]	v [km/h]	q [Fz/h]	v [km/h]	q [Fz/h]
A	≥ 96.5	700	≥96.5	700	120/101	615/720
B	≥ 88.5	1000	≥91.7	1100	120/101	970/1130
C	≥ 80.5	1400	≥86.9	1550	118/101	1410/1575
D	≥ 64.4	1800	≥74.0	1850	112/99.6	1840/1885
E	48.3-56.3	2000	≥48.3	2000	85.7/95	2055/2060
F	≤ 48.3	Stau	≤ 48.3 (45.1)	Stau	Stau	Stau

1 Im HCM 1965 wird noch nicht zwischen ‚highway‘ und ‚freeway‘ unterschieden. Wegen der grösseren Ähnlichkeit des ‚freeways‘ (Zugangskontrolle) wurden von den Jahren 1985 und 2000 die ‚freeway‘-Werte verwendet.

2 Design Speed 112 km/h, 70 mp/h

3 Werte für FFS von 120 km/h

Abbildung 36 USA: grafischer Vergleich LOS auf Autobahnen HCM, 1965, 1985, 2000



Daten aus HCM 1965, 1985, 2000

Es lässt sich also insgesamt die These aufstellen, dass die Strassen im Laufe der Zeit besser ausgenutzt wurden und die bei einer bestimmten Geschwindigkeit erreichten Verkehrsstärken gestiegen sind. Dies äussert sich in weniger gekrümmten Kurven im q-v-Diagramm, wie in Abbildung 36 ersichtlich. Dabei sind, wie in den vorangehenden Abschnitten aufgezeigt, auch die Geschwindigkeiten über die Jahre gestiegen.

In der Folge werden q-v-Diagramme aus verschiedenen Jahren nebeneinander gestellt, um daraus eine Entwicklung ablesen zu können. Um die Daten gut vergleichen zu können, wird, wo immer möglich, der Quotient der Abnahme der Geschwindigkeit pro 100 Fahrzeuge errechnet. Bei der Bildung des Quotienten wird jeweils der Bereich der linearen Abnahme berücksichtigt. Da die Geschwindigkeit im Bereich der Leistungsfähigkeit rapide abnimmt, wird dieser Bereich bei der Berechnung ausgelassen, da er zu Verzerrungen führen würde. Ebenso wird der Bereich geringer Verkehrsstärken bis rund 500 Fahrzeuge bei der Berechnung nicht berücksichtigt. Hier bleiben aufgrund mangelnder gegenseitiger Beeinflussung die Geschwindigkeiten unabhängig von der Verkehrsstärke gleich.

Bei der Betrachtung vorangegangener Tabellen und weiterer Verfolgung des Berichts fällt auf, dass zur Leistungsfähigkeit kaum Daten aus der Schweiz aufgeführt sind. Dies rührt daher, dass man sich in der Schweiz, dem Problem der Leistungsfähigkeit kaum (Ausnahme Rotach, 1960) angenommen hat. Leistungsfähigkeiten aufgrund von Qualitätsstufen oder LOS zu betrachten, in der Art wie es beim HCM 1965 eingeführt wurde, begann man gar erst mit der letzten VSS Norm 640 018 und 640 020 im Jahre 1999. Dabei wurden viele Daten von deutschen Untersuchungen, (vor allem Brilon et al. (1994)) übernommen und an schweizerische Verhältnisse angepasst. Zuvor ging man von einer ‚zulässigen Belastung‘ aus, die je nach Randbedingungen durch verschiedene Faktoren abgemindert wurde.

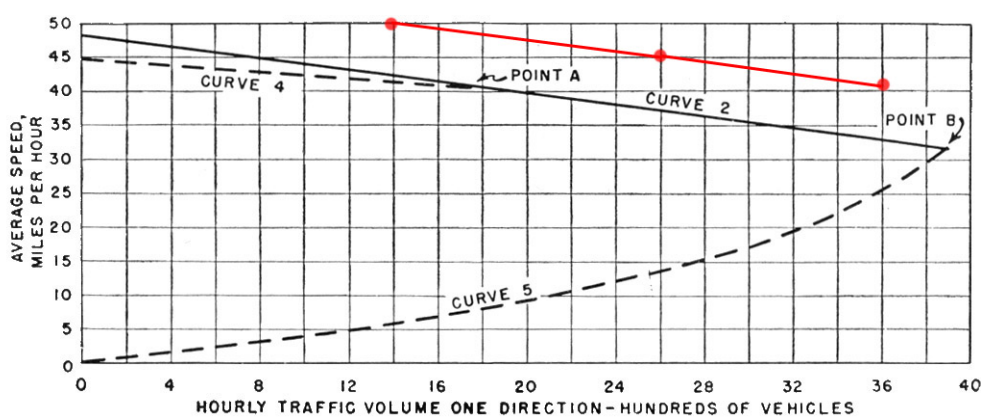
6.2 Entwicklung der Leistungsfähigkeit von Autobahnen 1950-2000

6.2.1 1950-1960

Kurve 2 in Abbildung 37 zeigt die Abnahme der Geschwindigkeit von 78 km/h (48.5 mph) bis auf 51 km/h (32mph) bei einer Verkehrsstärke von 3900 Fz/Richtung, also 1950 Fz/Spur, was einer Geschwindigkeitsabnahme von 1,4 km/h pro 100 Fz entspricht. ‚Point B‘ bezeichnet den Punkt, wo der Verkehrsfluss in einen Stau mündet, der durch die Kurve 5 beschrieben

ist. Kurve 5 gibt die geringstmöglichen Geschwindigkeiten an, um die dazugehörigen Verkehrsstärken zu bewältigen. Im Vergleich zu den Werten der Tabelle 9 fallen vor allem die geringeren Geschwindigkeiten auf. Dazu sind die entsprechenden Verkehrsstärken ebenfalls bedeutend geringer. Die Entwicklung, die bereits beim Vergleich der HCM 1965 mit Daten von 1985 aufgefallen ist, ist also bloss eine Fortsetzung der Veränderungen, die bereits früher begonnen haben.

Abbildung 37 USA: Geschwindigkeiten auf 2-spuriger Autobahn, 1950 und 1965 (rot)



Quelle: HCM (1950), S.33

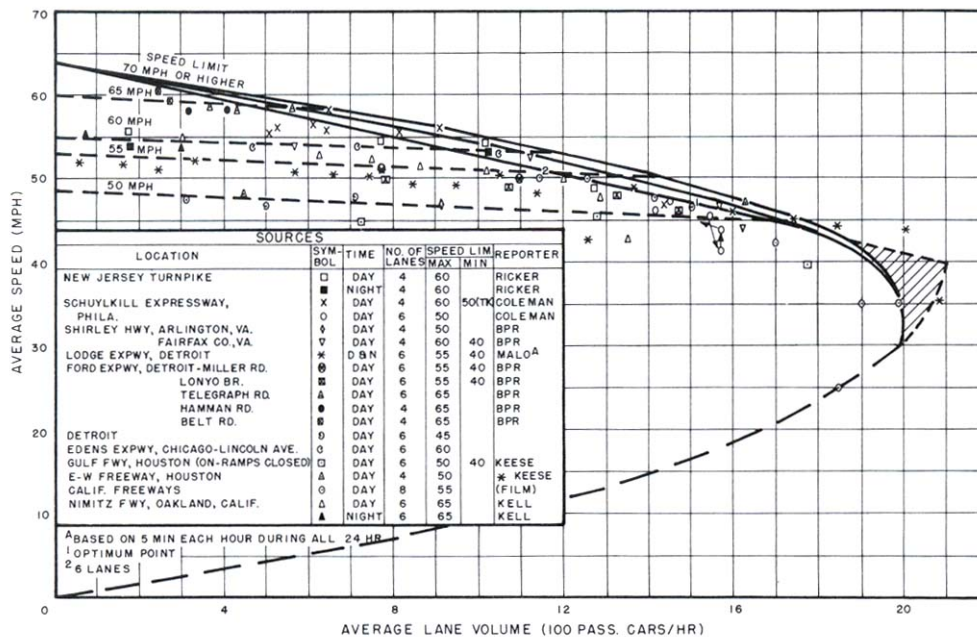
Abbildung 9 zeigt eine q-v-Funktion für deutsche Autobahnen aus dem Jahre 1955. Im Vergleich zum Diagramm aus dem HCM, welches eine lineare Abnahme der q-v-Funktion zeigt, fällt vor allem die konkave Krümmung auf. Es ist jedoch die starke Überhöhung zu beachten, welche die Krümmung verstärkt. Insgesamt sind die Kurven als vergleichbar anzusehen. Die gemessenen Werte aus dieser Untersuchung (Pampel, 1955) sind in Abbildung 37 als rote Linie eingetragen. Es ist eine höhere Geschwindigkeit gegeben, was wohl auf das neuere Datum (ca. 7 Jahre jünger) und die länderspezifischen Unterschiede zurückzuführen ist.

6.2.2 1960-1970

Aufgrund der Daten von Messungen auf verschiedenen *freeways* entstand das q-v-Diagramm in Abbildung 38. Die meisten Messungen erfolgten tags, die Geschwindigkeitsbegrenzungen betragen 50-65 mph (80-104 km/h). Die höchste Verkehrsstärke q_{\max} von 2000 Fz pro Spur wird bei 35 mph (56 km/h) erreicht. Die Geschwindigkeitsbegrenzungen werden in der Regel

auch bei geringen Verkehrsstärken eingehalten. Daher ist die Abnahmerate der Geschwindigkeit mit steigender Verkehrsmenge vergleichsmässig gering.

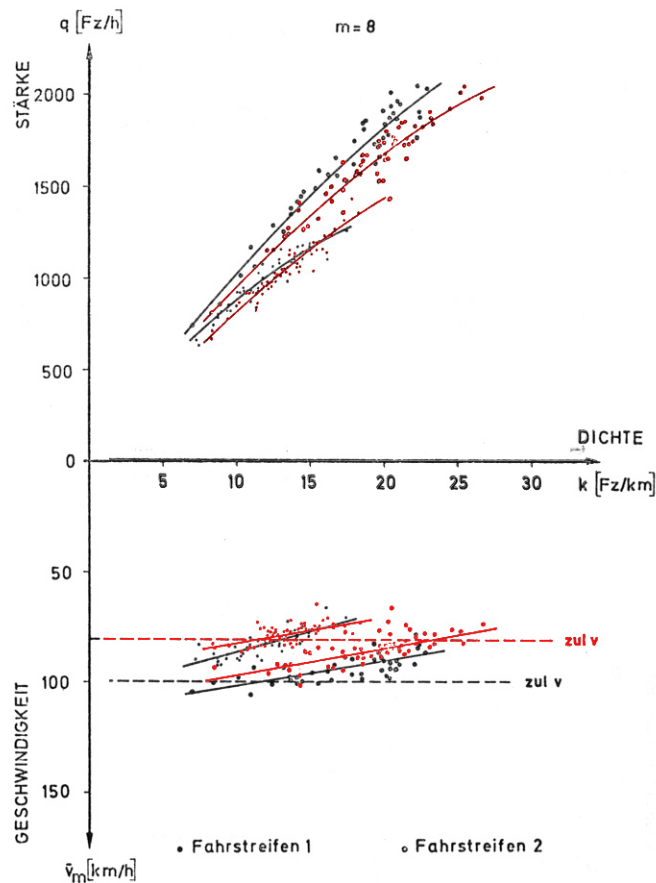
Abbildung 38 USA: q-v-Diagramm für freeways aus verschiedenen Messungen, 1965



Quelle: HCM (1965), S. 66

Auf Datengrundlage von Messungen von Zackor (1972) entstanden die Diagramme der Abbildung 39, welche die Zustände mit Geschwindigkeitsbegrenzung 100 (schwarz) respektive 80 km/h (rot) auf der Autobahn München-Salzburg beschreiben. Die Trendlinien sind jeweils für die linke und rechte Spur separat ausgewiesen. Bei dieser Untersuchung wurde nur feiertags (keine LKW) gemessen.

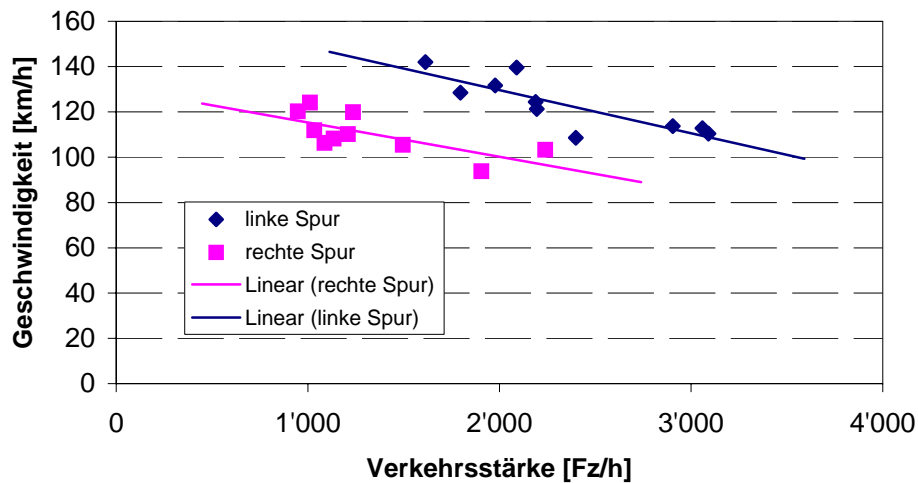
Abbildung 39 Deutschland: Fundamentaldiagramm mit Geschwindigkeitsbegrenzungen



Quelle: Zackor (1972), S. 45

Abbildung 40 zeigt eine q - v -Funktion, die aus Zusammenfassung verschiedener Zeitpunkte und Bedingungen auf besagter Messstrecke (ohne LKW-Anteil) entstanden ist. Gerade aber im Bereich des Wechsels der Verkehrszustände liegen keine Daten vor. Hingegen lässt sich der Trend der mit grösserer Verkehrsstärke abnehmenden Geschwindigkeiten herauslesen. Die Geschwindigkeitsabnahme beträgt für 100 Fz 1,5 km/h auf der rechten, resp. 1.9 km/h auf der linken Spur.

Abbildung 40 Deutschland: Geschwindigkeiten auf verschiedenen Spuren, 1972

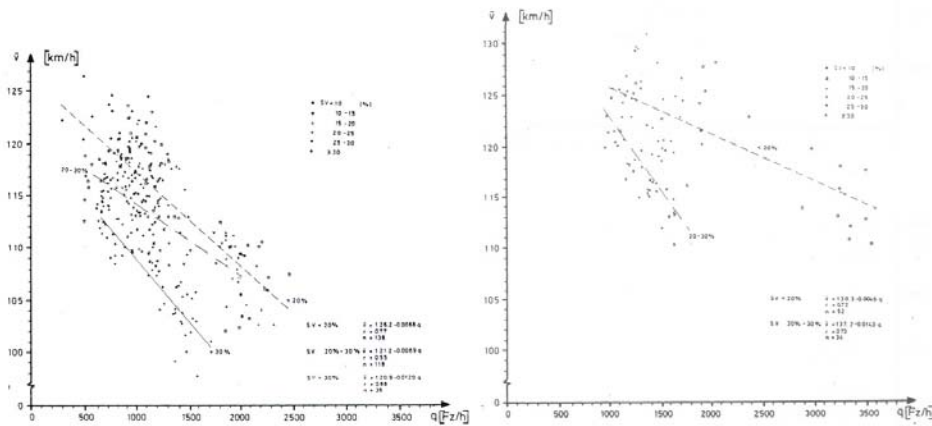


Daten von Zackor (1972), S. 19

6.2.3 1970-1980

Aus der Untersuchung von Keller et al. (1985) stammt Abbildung 41. Das Diagramm links gibt den Verkehrszustand auf einer 2-spurigen Autobahn in Deutschland wieder, die Regressionsgeraden beziehen sich auf verschiedene Schwerververkehrsanteile. Das rechte Diagramm gibt dieselben Angaben wieder, jedoch für eine 3-spurige Autobahn. Es zeigt sich, dass je geringer der LKW-Anteil ist, desto höher die gefahrenen Geschwindigkeiten sind. Daneben ist ersichtlich, dass die Regressionsgeraden der Klassen mit geringerem Schwerververkehrsanteil flacher (0,68 km/h gegenüber 1,2 km/h Abnahme pro 100 Fz auf 2-spurigen, 0,48 km/h gegenüber 1,43 km/h auf 3-spurigen Autobahnen) verlaufen, also auf eine grössere Verkehrsstärke nicht so empfindlich reagieren. Durch einen Vergleich der beiden Diagramme wird ersichtlich, dass, bedingt durch das bessere Angebot, auf der 3-spurigen Autobahn die Geschwindigkeiten im Bereich hoher Verkehrsstärken langsamer absinken. So beträgt beispielsweise bei einer Stärke von 2500 Fz/h die Geschwindigkeitsdifferenz 15 km/h. Die Daten dieser Untersuchung wurden in den Jahren 1976-1978 unter Berücksichtigung der Forderungen von idealen Messbedingungen erhoben.

Abbildung 41 Deutschland: Geschwindigkeiten, 2- und 3-spurige Autobahn, 1985

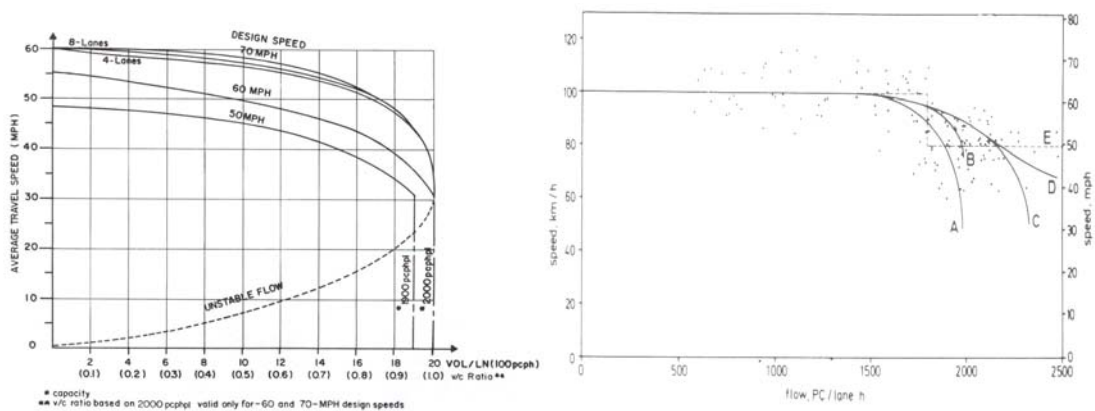


Quelle: Keller et al. (1985), S. 13

6.2.4 1980-1990

In Abbildung 42 sind 2 q-v-Diagramme aufgeführt: Das linke steht im HCM 1985 als allgemeingültiges Diagramm, das rechte entstand aus einer Messreihe in Toronto, Kanada, 1982. Die Diagramme zeigen wesentliche Unterschiede bezüglich v_{krit} und q_{krit} . Während v_{krit} im linken Diagramm 30 mph, also rund 50 km/h beträgt, ist dieser Wert im rechten Diagramm mit 70-80 km/h ausgewiesen.

Abbildung 42 Nordamerika: Vergleich mit q-v-Diagramm, 1985

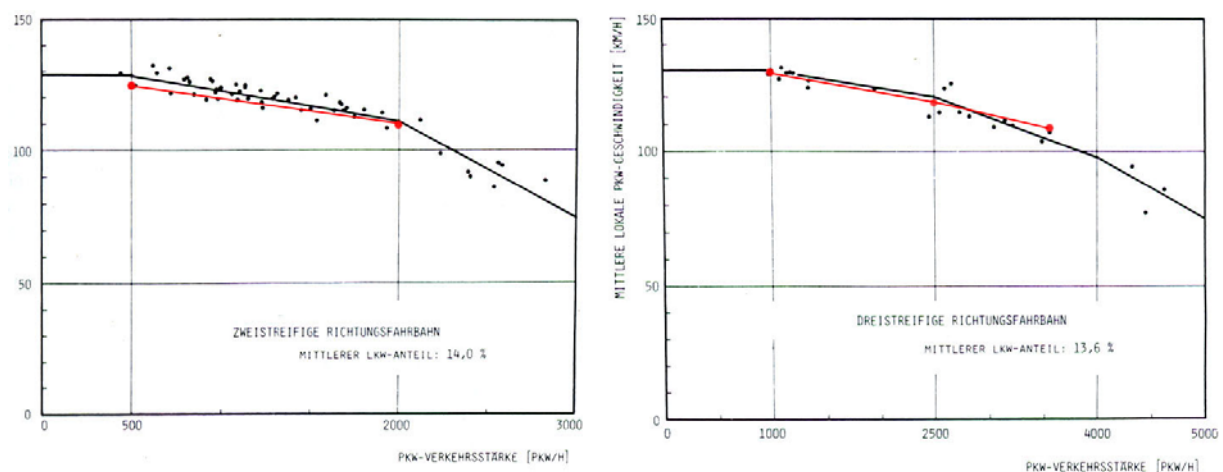


Quelle: HCM (1985), S. 2-23 und 3-5

Interessant ist auch der Einfluss des Ausbaugrades auf q_{\max} , wie im linken Diagramm gezeigt: Breite, auf hohe Geschwindigkeiten ausgelegte Autobahnen, können stärker belastet werden.

Die in Abbildung 43 gezeigten q-v-Diagramme basieren auf Messungen des Jahres 1983 von Heidemann und Hotop (1984) in Deutschland auf zweistreifigen (links) und dreistreifigen (rechts) Autobahnen mit Steigungen < 2%. Dabei wurden nur die Geschwindigkeiten der PW erfasst, der Anteil der LKW ist mit 14%, resp. 13,6% angegeben. Zum Vergleich mit den Daten der Messungen 1976-1978 wurden die damaligen Regressionskurven (LKW < 20%) rot in die Grafik eingefügt. Da sich keine grossen Abweichungen feststellen lassen, ist davon auszugehen, dass sich über die Jahre keine grösseren Veränderungen im Geschwindigkeitsregime eingestellt haben. Die von der Verkehrsstärke abhängige Geschwindigkeitsabnahme der PW pro 100 Fz Mehrbelastung beträgt 1,2 km/h (2-spurig) resp. 1,0 km/h (3-spurig)

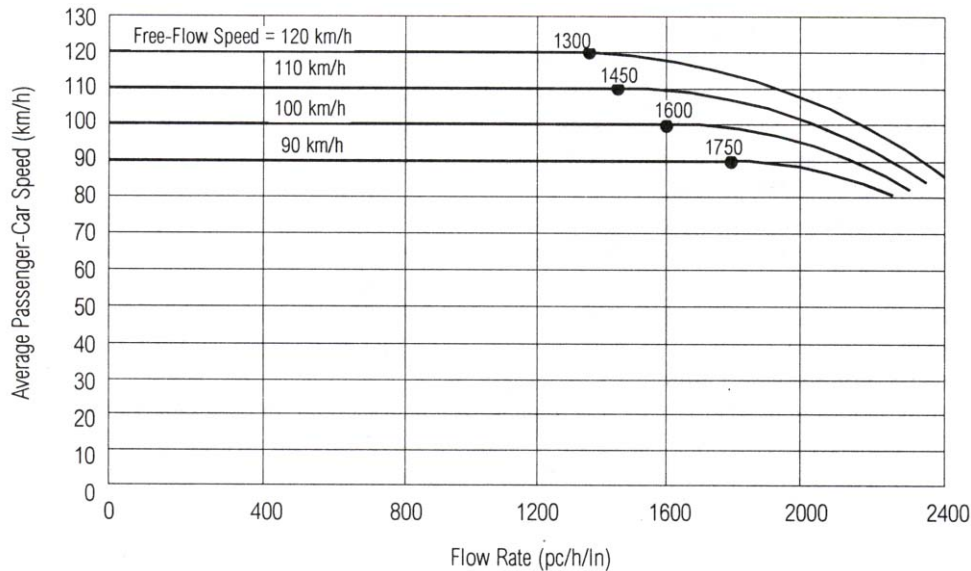
Abbildung 43 Deutschland: Geschwindigkeiten, 2- und 3-spurige Autobahn, 1984



Quelle: Heidemann und Hotop (1984), S. 191, bearbeitet

6.2.5 1990-2000

Im HCM 2000 wird der Verlauf der Kurven im q-v-Diagramm vom *free-flow speed* abhängig gemacht. Je höher der FFS, desto weniger Verkehrsbelastung braucht es, damit die Geschwindigkeit zu sinken beginnt. Anders als beim deutschen HBS bleiben die Geschwindigkeiten bis zu diesem Punkt gleich. Dies zeigt das betreffende Diagramm in Abbildung 44.

Abbildung 44 USA: FFS und der Einfluss der Belastung für *freeways*, 2001

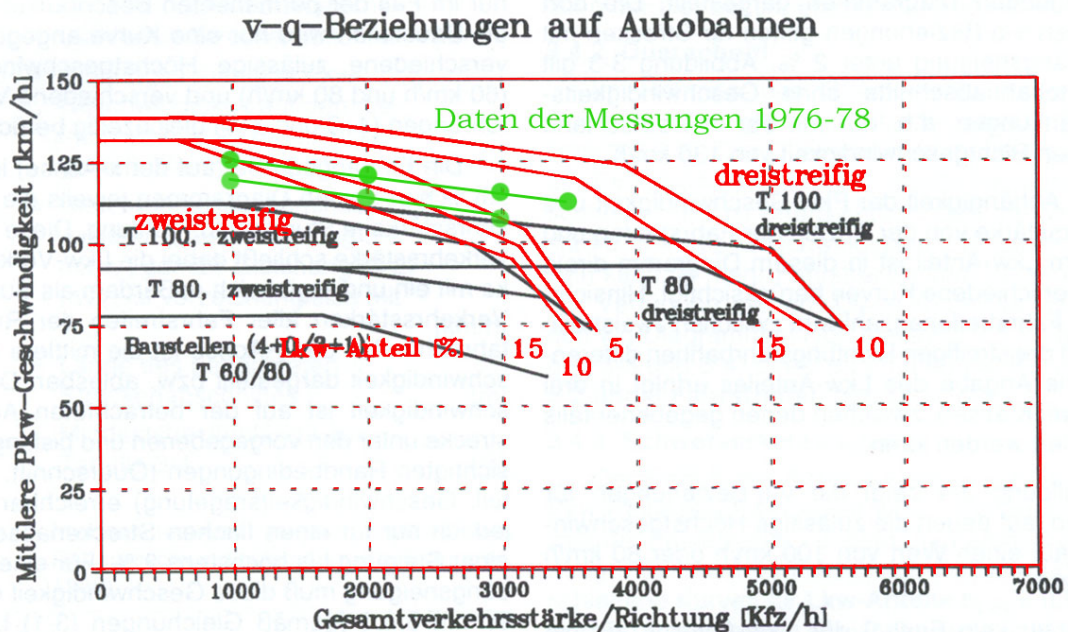
Quelle: HCM (2000)

Abbildung 45 zeigt eine Überlagerung von in Deutschland erhobenen q-v-Diagrammen mit (schwarz) und ohne (rote Kurven) Geschwindigkeitsbegrenzung. Der LKW-Anteil der Kurven mit Beschränkung beträgt 10%. Es ist ersichtlich, dass im Bereich geringer Verkehrsstärken ohne Beschränkung eindeutig höhere Geschwindigkeiten gefahren werden. Nahe der Leistungsfähigkeit (3000 Fz/h, resp. 5000 Fz/h) wird das Geschwindigkeitsverhalten durch die gegenseitige Behinderung bestimmt.

Die mit Linien verbundenen grünen Punkte basieren auf der im Jahre 1978 entwickelten Regressionsgeraden für Geschwindigkeiten auf 2- und 3-spurigen Autobahnen mit einem LKW-Anteil < 20% (Keller et al. 1985), wie in Abbildung 41 gezeigt. Im Vergleich zeigt sich eine Erhöhung der Geschwindigkeiten über den gesamten Verkehrsstärkenbereich sowohl auf 2- als auch auf 3-spurigen Autobahnen.

Die Quotienten der Geschwindigkeitsabnahme betragen bei jeweils 15% LKW-Anteil 0,65 km/h (3-spurig) und 1,25 km/h pro 100 Fz.

Abbildung 45 Deutschland: v-q-Diagramm, 2- und 3-spurige Autobahn, 1993

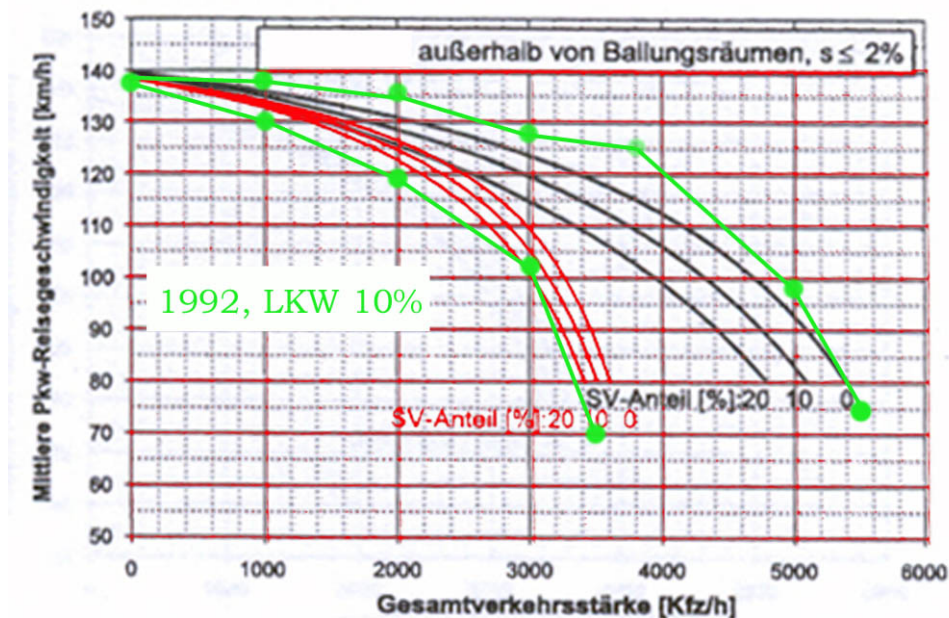


T100: Geschwindigkeitsbeschränkung 100 km/h; T80 Geschwindigkeitsb. 80 km/h

Daten aus Brilon et al. (1994), S. 25f

In das ‚Handbuch für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen‘ (kurz HBS) 2001 der Deutschen Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen fanden auf neuen Messungen basierte q-v-Diagramme für ein 1-stündiges Intervall Eingang. Abbildung 46 zeigt die Kurven für 3-spurige (schwarz) und 2-spurige (rot) Autobahnen. Daneben sind wiederum in grün die älteren Ergebnisse, in diesem Fall aus dem Jahre 1993, eingezeichnet. Es zeigt sich eine Geschwindigkeitsverminderung auf 3-spurigen Autobahnen, jedoch eine leichte Erhöhung auf den 2-spurigen. Der grundsätzliche Verlauf und somit der Quotient der Geschwindigkeitsabnahme bleibt aber gleich.

Abbildung 46 Deutschland: 2-(rot) und 3-spurige Autobahn, ohne Beschränkung, 2001

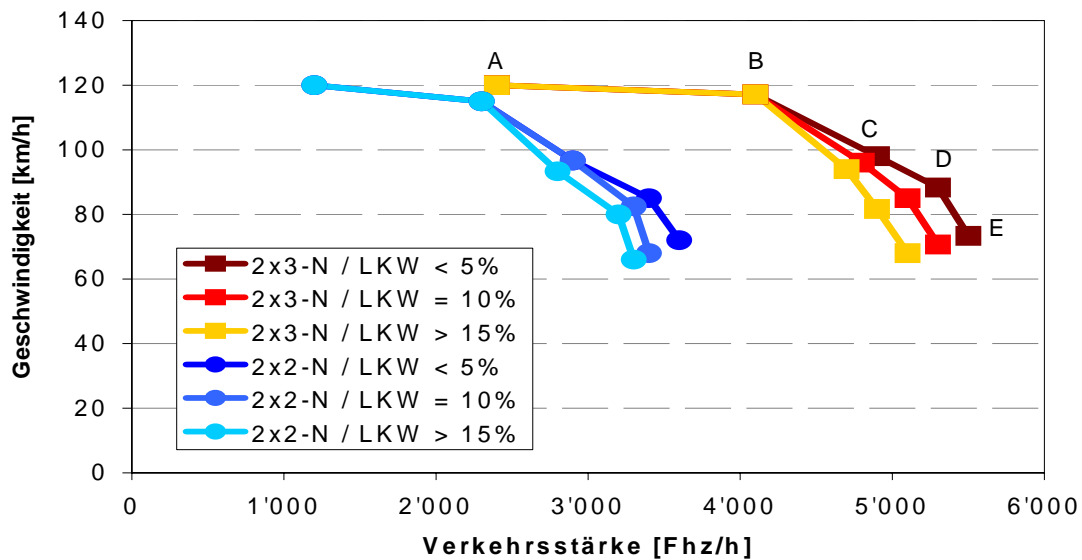


Quelle: HBS (2001), S. 3-11/3-13; Brilon et al. (1994)

Wie bereits erwähnt, wurden Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit in der Schweiz vernachlässigt. 1999 wurde zum ersten Mal eine Unterteilung in Verkehrsqualitätsstufen vorgenommen. Abbildung 47 zeigt die Visualisierung der in der Norm angegebenen Werte für 2x2-N resp. 2x3-N Querschnitte. In der Norm finden sich des Weiteren Daten für 2x3-R/-SR sowie 2x2R/-SR-Querschnitte.

Mangels Vergleichsdaten aus früheren Jahren lassen sich für Leistungsfähigkeiten auf Schweizer Autobahnen keine zeitlichen Verläufe und Entwicklungen zeigen.

Abbildung 47 Schweiz: q-v-Diagramm nach VSS-Norm 1999, Längsneigung < 2%, 1999



Daten aus VSS (1999), S. 12

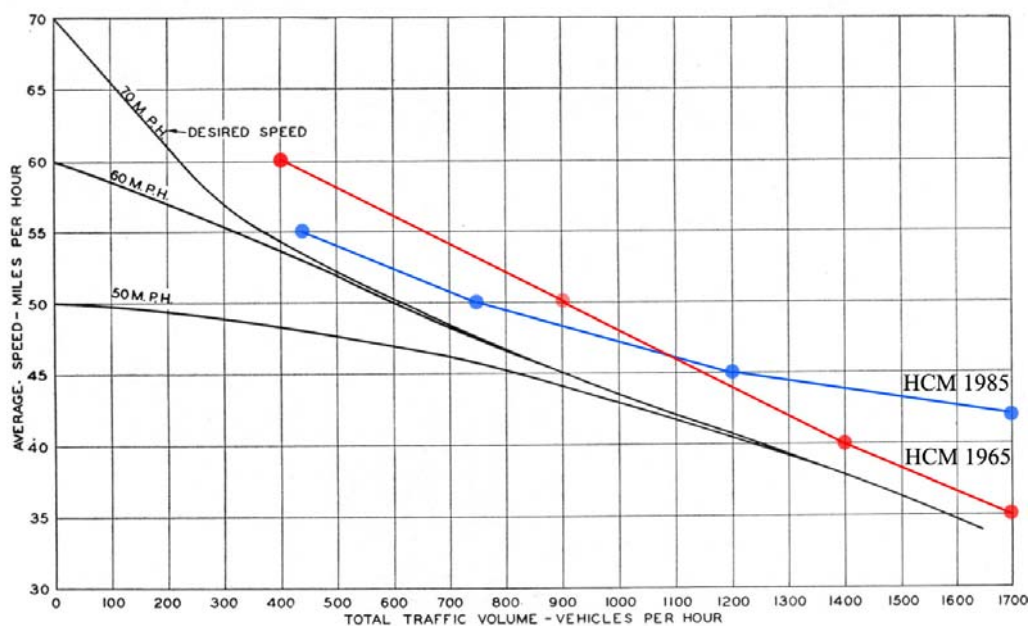
6.3 Entwicklung der Leistungsfähigkeit von Landstrassen 1950-2000

Im Gegensatz zu den Autobahnen, wo regelmässig Leistungsfähigkeitsuntersuchungen gemacht wurden, findet sich betreffend Landstrasse bedeutend weniger Literatur. Dies mag daran liegen, dass seit dem Ausbau des Autobahnnetzes Landstrassen an Bedeutung verloren haben und Fragen der Leistungsfähigkeit nicht mehr zentral waren. Einzig im Bereich Landstrassen mit Steigungen wurde weiterhin geforscht, diese Untersuchungen werden aber im Abschnitt 8 behandelt.

6.3.1 1950-1960

Abbildung 48 zeigt Kurven über die möglichen Verkehrsmengen des Gesamtquerschnittes einer 2-spurigen Landstrasse, abhängig von der erwünschten Geschwindigkeit (Ausbaugrad der Strasse). Es zeigt sich, dass sich ab einer Verkehrsstärke von 1000 die Kurven einander sehr angleichen und ab 1300 Fz/h ineinander übergehen. Durch einen Vergleich zu den in Tabelle 8 gegebenen Werten der Jahre 1965 und 1985, die in der Grafik eingezeichnet sind, zeigt sich auch hier einen Anstieg der Verkehrsstärken und Geschwindigkeiten. Insbesondere zeigt sich, dass die im Jahre 1985 angegebene Kurve im Bereich der Leistungsfähigkeit sich von den anderen abhebt. Es ist also davon auszugehen, dass die Verkehrsteilnehmer bei höheren Geschwindigkeiten mit geringeren Zeitlücken hintereinander herfahren.

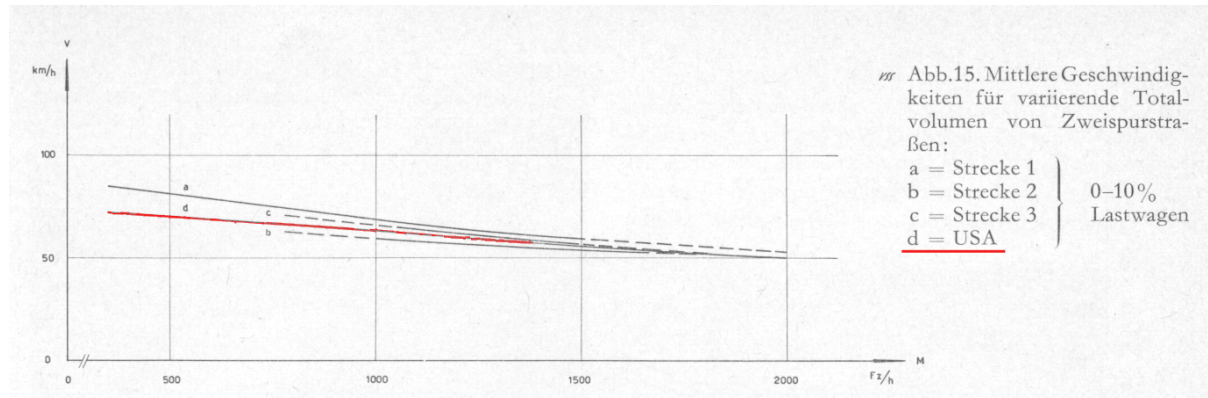
Abbildung 48 USA: Geschwindigkeiten auf Landstrasse, 1950, 1965, 1985



Quelle: HCM (1950), S. 44; HCM (1965), S. 285; HCM (1985), S. 8-4

Während aufgrund der Daten des HCM (1965) zwar schneller gefahren worden ist, blieb die Abnahme der Geschwindigkeit mit zunehmender Verkehrsmenge im Vergleich zu 1950 mit rund 3 km/h für 100 Fz Mehrverkehr gleich. 20 Jahre später betrug die Abnahme nur noch 1,7 km/h pro 100 Fz, die Verkehrsstärke hatte also nicht mehr so grossen Einfluss auf die Geschwindigkeitswahl.

Abbildung 49 Schweiz: Geschwindigkeiten unter Belastung auf Landstrasse



Quelle: Rotach (1957), S. 20

Aus der Untersuchung von Rotach (1957) stammt Abbildung 49, welche die Abhängigkeit der mittleren Geschwindigkeiten von der Verkehrsmenge mit einer Vergleichsgeraden aus den USA zeigt. Es erweist sich, dass die US-Daten durchaus mit den in der Schweiz erhobenen vergleichbar sind. In der Schweiz wurde allerdings im Bereich des freien Verkehrs etwas schneller gefahren. Dies könnte aber damit zusammenhängen, dass die Daten von Rotach ca. 8-10 Jahre später erhoben wurden. Die Kurve b wurde unter regnerischen Bedingungen aufgezeichnet. Es ist ein signifikanter Abfall der Geschwindigkeiten und, wie im Bericht vermerkt, der Überholtätigkeiten festzustellen. Hier zeigt sich der Einfluss äusserer Faktoren auf die gefahrenen Geschwindigkeiten. Ein weiteres q-v-Diagramm von Rotach findet sich als Abbildung 26 auf Seite 40, welches mehr oder weniger Abbildung 49 entspricht.

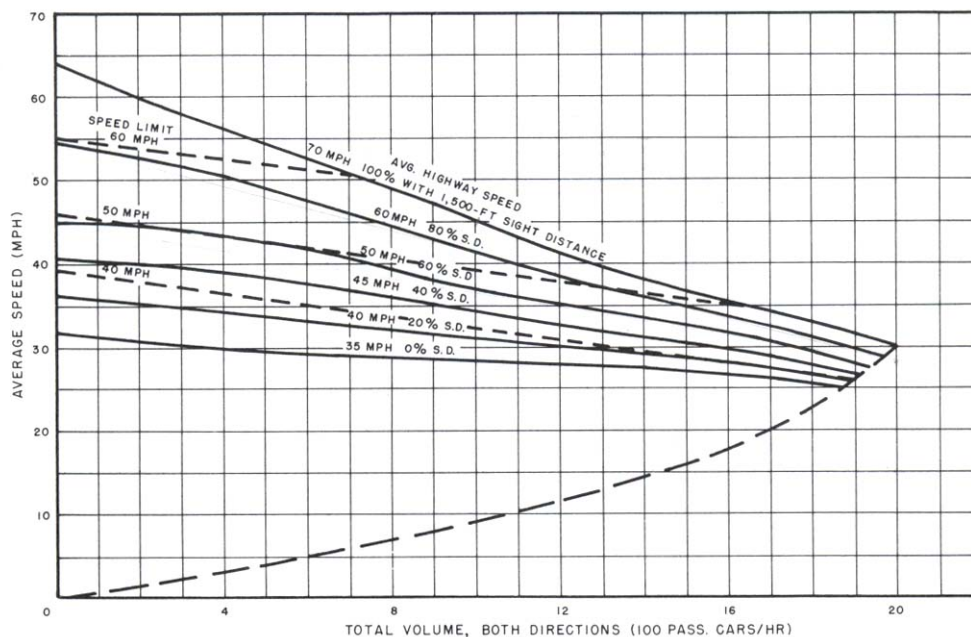
Anlässlich der Messungen für dieselbe Untersuchung konnte eine Leistungsfähigkeit von 2200 Fz/h bei 53 km/h Durchschnittsgeschwindigkeit in einem Messintervall von 15 Minuten festgestellt werden. Allerdings wurde vermerkt, dass für eine statistisch gesicherte Annahme nicht genügend Werte im Leistungsfähigkeitsbereich gemessen werden konnten.

6.3.2 1960-1970

Abbildung 46 zeigt das q-v-Diagramm für Landstrassen in den USA. Dieses wurde aufgrund von verschiedenen Messdaten erstellt, berücksichtigt aber, wie alle verallgemeinerten Diagramme, keine besonderen Einflüsse wie z.B. LKW-Anteil. Die maximale Verkehrsstärke für beide Richtungen einer ideal ausgebauten Strasse beträgt 2000 Fz bei einer Geschwindigkeit

von 30 mph (48 km/h). Je geringer die Sichtdistanzen und somit die Ausbaugeschwindigkeit, desto geringer ist auch q_{\max} . Auf Strassen geringerer Ausbaugeschwindigkeit fällt die durch Mehrverkehr bedingte Geschwindigkeitsabnahme geringer aus, im Schnitt beträgt die Abnahme 2,4 km/h pro 100 Fz.

Abbildung 50 USA: q-v-Diagramm für Landstrassen



Quelle: HCM (1965), S. 65

6.3.3 1970-1980

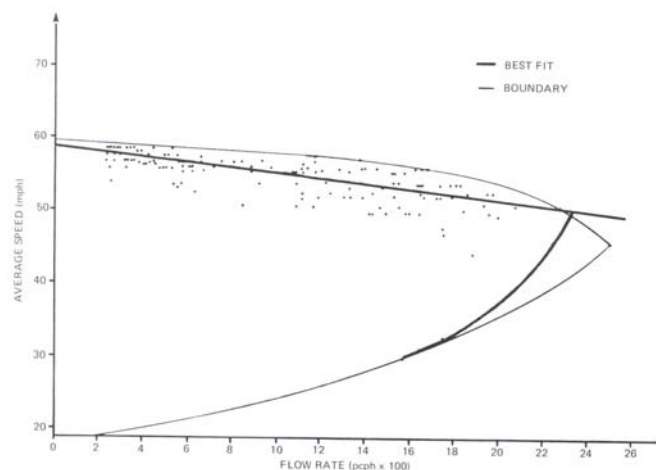
Für diesen Zeitraum wurden keine relevanten Untersuchungen gefunden.

6.3.4 1980-1990

Abbildung 51 zeigt das Ergebnis einer Messreihe in Alberta, Kanada. Die Kurve zeigt eine konstante Abnahme der Geschwindigkeit von 59 mph (94 km/h) bei geringer und 50 mph (80 km/h) bei grosser Verkehrstärke von 2400 Fz. Diese ist umso interessanter, weil die meisten q-v-Diagramme aus den USA für Autobahnen (siehe Abbildung 42, links) dieser Zeit einen v_{krit} -Wert von 30 mph angeben. Es ist jedoch zu bemerken, dass hier der Gesamtquerschnitt

gezählt wird, also die Belastung nur 1400 pro Fahrstreifen beträgt. Auf der anderen Seite zeigen die in Kanada gemachten Messungen (siehe Abbildung 42, rechts), dass die bei hohen Verkehrsstärken gefahrenen Geschwindigkeiten im Gegensatz zu den im HCM 1965 publizierten tatsächlich einiges höher sind.

Abbildung 51 USA: q-v-Diagramm für *two-lane rural highways*



Quelle: HCM (1985), S. 2-24

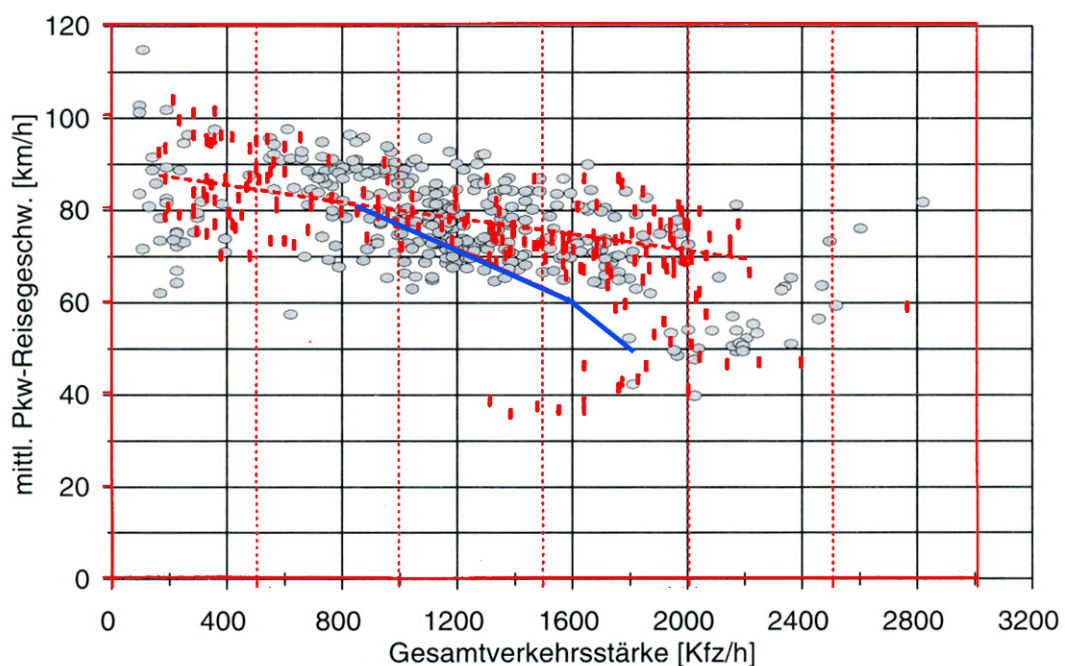
In RAS-Q (1982) wurden neue v-q-Beziehungen dargelegt, welche auf einer Arbeit von Trapp (1980) beruhen. Das damals verwendete Datenmaterial war bereits Basis für die RAS-Q 1974 und stammt somit aus der Zeit davor. Für die RAS-Q 1982 wurden die Diagramme gegenüber der Realität bewusst verändert; es wurden die Geschwindigkeiten im Bereich hoher Verkehrsstärken abgemindert. Die RAS-Q 1982 sollte mehr als Richtlinie für die Vorgehensweise der Dimensionierung dienen. Untersuchungen von Keller und Sachse (1992) ergaben dann, dass für gegebene Geschwindigkeiten, wie erwartet, höhere Verkehrsstärken aufgetreten sind.

In der Abbildung 52 sind Daten der RAS-Q 1982 (blau), der Untersuchung von Keller und Sachse (1992) (rot) sowie von Brilon und Weiser (1997) (grau) zusammengeführt. Es ist zu erkennen, dass die Untersuchungen von Keller und Sachse durch Brilon und Weiser bestätigt wurden und die Geschwindigkeiten im Bereich hoher Verkehrsstärken tatsächlich höher sind als die Norm vorgibt. Da die RAS-1982-Norm aber, wie erwähnt, nicht direkt auf Messergebnissen beruhte, sondern eher durch willkürlich zu tief gewählte Geschwindigkeiten festge-

legt wurde, kann davon ausgegangen werden, dass das Geschwindigkeitsverhalten auf Hauptverkehrsstrassen in den letzten Jahren, zumindest in Deutschland, in etwa gleich geblieben ist.

Die Regressionsgerade, die die Werte der Keller und Sachse Untersuchung mittelt, fällt mit 0,9 km/h pro 100 Fz. Wie die Grafik zeigt, liegen die Punktmengen der Daten von Brilon im gleichen Bereich.

Abbildung 52 Deutschland: q-v-Diagramm für Landstrasse, 1982, 1992, 1997

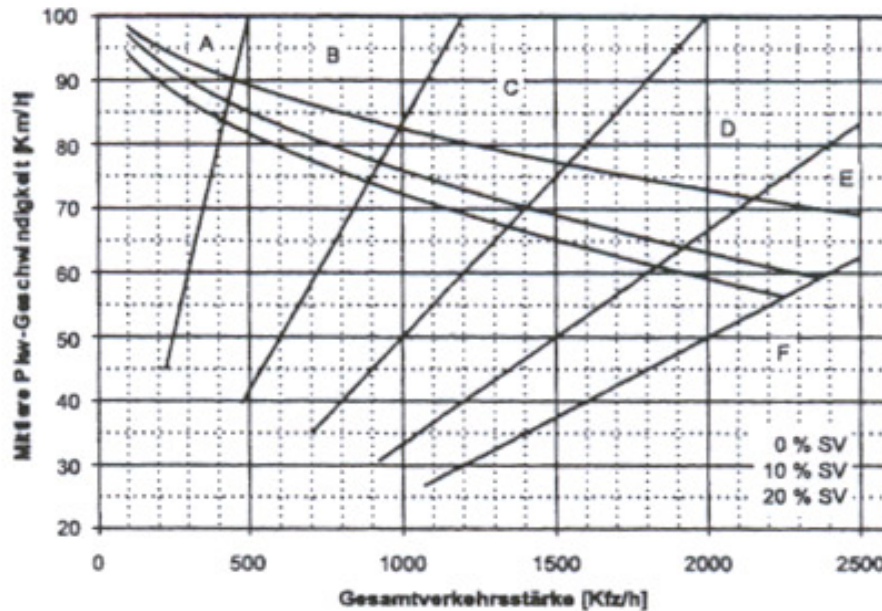


Daten aus RAS-Q (1982), Keller und Sachse (1992) sowie Brilon und Weiser (1997)

6.3.5 1990-2000

Die Untersuchung von Brilon und Weiser (1997), die als Grundlage des HBS 2001 diente, fanden der Anschaulichkeit halber schon im Abschnitt 6.3.5 Eingang. Im HBS 2001 wurden dann für verschiedene Steigungen und Kurvigkeiten q-v-Diagramme eingeführt. Hier sei nur dasjenige mit geringer Kurvigkeit und Steigung als in Abbildung 53 aufgeführt. Es sind die PW-Reisegeschwindigkeiten bei verschiedenen Schwerverkehr-Anteilen und die Verkehrsqualitätsstufen herauslesbar.

Abbildung 53 Deutschland: q-v-Diagramm für PW, geringe Kurvigkeit und Steigung



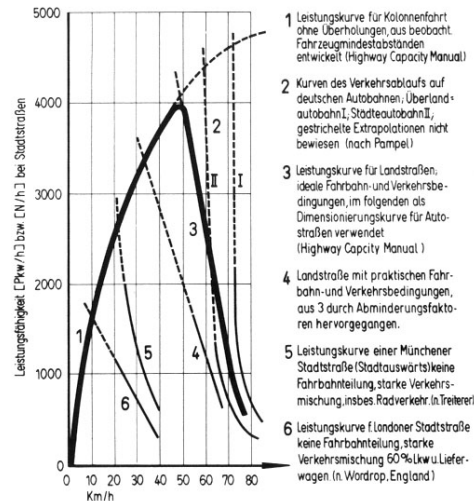
Quelle: HBS (2001), S. 5-13

Daneben fanden sich bis auf das HCM 2000 (siehe Tabelle 8) keine weiteren Untersuchungen. Zusammengefasst beschreibt das HCM einen linearen Abfall der mittleren Geschwindigkeiten vom *free-flow speed* mit rund 2 km/h je 100 Fz Mehrbelastung.

6.4 Stadtstrassen

Im 1960 veröffentlichten Buch von Korte werden neben den bereits bekannten q-v-Funktionen für Hauptverkehrsstrassen auch solche für Stadtstrassen, unter Verhältnissen in München und London ermittelt, angegeben. Die betreffenden Kurven sind in Abbildung 54 mit den Ziffern 5 und 6 angeschrieben. Zu den Kurven im Stadtverkehr ist zu bemerken, dass in Stadtstrassen eine Verkehrsmischung mit hohem Last- und Lieferwagenanteil vorherrscht. Die gefahrenen Geschwindigkeiten bewegen sich in einem Band von 40 km/h bis 20 km/h.

Abbildung 54 Leistungsfähigkeit von zweispurigen Richtungsfahrbahnen



Quelle: Korte (1960), S. 228

Anders als bei Landstrassen oder Autobahnen, wo weite Strecken keinem oder nur geringem Einfluss von Knotenpunkten unterliegen, geht im städtischen Bereich der dominierende Einfluss auf den Verkehrsablauf und damit auf die Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität von den Knoten aus. Knotengeometrie, Freigabezeiten bei lichtsignalgesteuerten Anlagen, Koordinierung und Knotenabstand bestimmen, anders als bei Autobahnen oder Landstrassen, die Leistungsfähigkeit des System. Daher lässt sich die Leistungsfähigkeit nicht durch Methoden, wie sie das Fundamentaldiagramm beschreibt und welche auf Hauptverkehrsstrassen zum Einsatz kommen, ermitteln. Vielmehr kommen hier Überlegungen des Stauabflusses oder der Zeitlückenverteilungen zum Tragen.

Während bei den ausserörtlichen Hauptverkehrsstrassen die Verkehrsqualität durch die Streckengeschwindigkeit, die von Geschwindigkeitsbegrenzungen oder der Verkehrsstärke bestimmt wird, ermittelbar ist, ist beim innerörtlichen Verkehr die Reisezeit, die sich aus der Streckengeschwindigkeit und den Verlustzeiten an den Knoten zusammensetzt, bestimmend.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es im innerstädtischen Bereich sehr schwierig ist, eine Durchschnittsgeschwindigkeit oder Streckenleistungsfähigkeit anzugeben, da hier, vor allem im Bereich hoher Verkehrsstärken, Stop-and-Go-Verkehr vorherrscht und die Einflüsse der Knoten bestimmend sind. Die Verkehrsqualität wird hier durch die Leistungsfähigkeit der Knoten bestimmt.

7 Zusammenfassung Leistungsfähigkeit

7.1 Autobahnen

In Tabelle 10 sind die typischen Werte zur Leistungsfähigkeit aufgereiht. q_{\max} bezeichnet die maximale Verkehrstärke, v_{krit} die zu q_{\max} gehörige Geschwindigkeit und m die Abnahme der Geschwindigkeit bei einer Verkehrszunahme von 100 Fz. Es fällt sofort auf, dass die Tabelle schlecht gefüllt ist. Einzig in den USA wurden solche Untersuchungen regelmässig und über den ganzen betrachteten Zeitraum getätigt. In der Schweiz begann man erst in den 90-er Jahren Messdaten der automatischen Induktionsschlaufendetektoren für den Gebrauch im Fundamentaldiagramm aufzubereiten. In Deutschland gab es zwar immer wieder Messungen zum Geschwindigkeitsverhalten, kontinuierliche Leistungsfähigkeitsuntersuchungen wurden aber auch hier nicht durchgeführt.

Tabelle 10 Leistungsfähigkeitskennwerte pro Fahrspur, 1950-2000

Zeit	USA			Schweiz			Deutschland		
	q_{\max}	v_{krit}	m	q_{\max}	v_{krit}	m	q_{\max}	v_{krit}	m
1950-1960	1870	51	1.4	keine Autobahn			-	74	1.3
1960-1970	2000	56	0.7	vorhanden			-	-	1.5
1970-1980	-	-	-	-	-	-	-	-	0.6
1980-1990	2000	48.3	3.7	-	-	-	-	-	1.1
1990-2000	2060	80	-	-	-	-	1800	75	1.25

Bei den US-Daten, welche auch LKW-Geschwindigkeiten umfassen, ist der Sprung von v_{krit} vom HCM 1985 zur Ausgabe von 2000 auffallend. Es ist jedoch zu bemerken, dass schon bei Messungen in Toronto im Jahr 1982 ein q_{krit} von 2000 Fz/h bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h gemessen wurde. Die Zahlen im Bereich der Leistungsfähigkeit sind jeweils kritisch zu betrachten, da der Einfluss des Messintervalls sowie die Interpretation der Messergebnisse zu beträchtlichen Unterschieden führen können.

7.2 Landstrassen

Bei der Zusammenfassung der Daten zur Tabelle 11 zeigen sich noch grössere Lücken. So wurden in der Schweiz zum Beispiel keine Fundamentaldiagramme erstellt. Es gab auch keine Untersuchungen, die eine Leistungsfähigkeit auswiesen oder den Verkehr im labilen Bereich aufzuzeichnen versuchten.

In den USA wurden kontinuierlich Leistungsfähigkeitsdaten erhoben und ausgewertet. Hier kann die Entwicklung als gesichert angenommen werden, obschon sich im HCM 1985 ein Widerspruch auftut: Im verallgemeinerten q-v-Diagramm werden eine q_{krit} von 2000 bei einem v_{krit} von ca. 50 km/h ausgewiesen. Gleichzeitig wird aber eine Messung aus Alberta (Kanada) zitiert, welche für höhere Verkehrsstärken eine höhere Geschwindigkeit angibt. Im Vergleich mit Daten aus Deutschland dieser Zeit, scheinen beide HCM-Diagramme extrem: das verallgemeinerte Diagramm scheint zu tiefe Verkehrsstärken und Geschwindigkeiten auszuweisen, das Diagramm aus Alberta gibt zu hohe Werte wieder. Eine Erklärung, warum die in Alberta gemessenen Werte so hoch sind, könnten sein: eine sehr gut ausgebaute Strasse, gute Randbedingungen oder kurzes Messintervall. Warum jedoch das allgemein gehaltene Diagramm, welches aus aggregierten Daten zusammengestellt wurde, so tiefe Werte ausweist, ist unklar.

Tabelle 11 Leistungsfähigkeitskennwerte (Gesamtquerschnitt) für Landstrassen, 1950-2000

Zeit	USA			Schweiz			Deutschland		
	q_{max}	v_{krit}	m	q_{max}	v_{krit}	m	q_{max}	v_{krit}	M
1950-1960	1700	50	2.4	2200	53	2.6	-	-	-
1960-1970	2000	50	2.4	-	-	-	-	-	-
1970-1980	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1980-1990	2000/ 2400	50/80	2/0.8	-	-	-	2200	60	0.9
1990-2000	2055	-	-	-	-	-	2500	60	1.5

8 Geschwindigkeit und Steigung

Steigungen beeinflussen die Leistungsfähigkeit einer Strasse und das Geschwindigkeitsverhalten. Der Einfluss der Steigung lässt sich auf folgende 3 Punkte zusammenfassen:

- Steigungsstrecken sind meist kurvig, was zu geringen Sichtweiten führt. Somit fallen auch Überholmöglichkeiten weg.
- Bergaufwärts sind Bremswege kürzer, talwärts länger. Dadurch werden bergaufwärts kleinere Fahrzeugabstände möglich, talwärts muss im Vergleich zur flachen Strecke ein grösserer Sicherheitsabstand vorhanden sein.
- Langsamere, leistungsschwächere Fahrzeuge und LKW können nur eine beschränkte Geschwindigkeit auf Steigungsstrecken erreichen. Die meisten PW verfügen und verfügen allerdings über genügend Leistungsreserven, dass Steigungen bis 7% keinen grossen Einfluss auf die Geschwindigkeiten haben. Jedoch können PW durch langsam fahrende LKW aufgehalten werden.

8.1 Literaturanalyse

Bis vor dem 2. Weltkrieg war das Problem nur von theoretischem Interesse. Mit dem HCM (1950) wurde zum ersten Mal eine umfassende, praxisbezogene Abhandlung veröffentlicht. Es wurde ein Diagramm, welches die Geschwindigkeitsänderung eines Bemessungslastwagens je Steigung resp. Gefälle angibt, errechnet. Auf dieser Grundlage konnten, um Aussagen über die Leistungsfähigkeit machen zu können, Fahrzeuggleichwerte (PW-Äquivalente) für verschiedene Steigungen errechnet werden. Diese Berechnungsart und die Werte des Bemessungslastwagens wurden mehrheitlich weltweit akzeptiert und bedenkenlos verwendet. Rotach (1960) errechnete für einen in der Schweiz typischen LKW (Saurer) die Geschwindigkeitsänderung je nach Steigung. Die Resultate wurden durch Messungen auf der Strasse verifiziert und bestätigt. In der Folge wurden kaum weitere Untersuchungen getätigt. In der in Deutschland 1974 veröffentlichten Norm RAL-Q wurden noch immer Rotachs Ergebnisse verwendet. Allerdings wurde in dieser Zeit die Äquivalenzmethode in Frage gestellt. Verschiedene Ingenieure (u.a. Schlums) schlugen vor, stattdessen den Einfluss des Lastverkehrs in Diagrammen und Tabellen festzuhalten. Im Vorfeld der Überarbeitung der Schweizer Norm SN 641 145 führte Barbe (1981) eine Bestandesaufnahme der Forschungsergebnisse zu langsamen Fahrzeugen im Verkehrsfluss durch. Neben der Literaturrecherche wurden auch Wissenschaftler direkt angeschrieben. Die Umfrage bestätigte den vorher geschilderten Ein-

druck. Die RAS-Q (1983) basiert auf Brannolte (1980), der den Vorschlag eines relativ leistungsschwachen (15% des LKW-Fahrzeugparks sind schwächer) Bemessungs-LKW eingeführt hatte. Daneben finden sich Tabellen, die je der Kurvigkeit, dem LKW-Anteil und der Steigungsklasse eine zulässige Verkehrsstärke ausweisen.

8.2 Ergebnisse

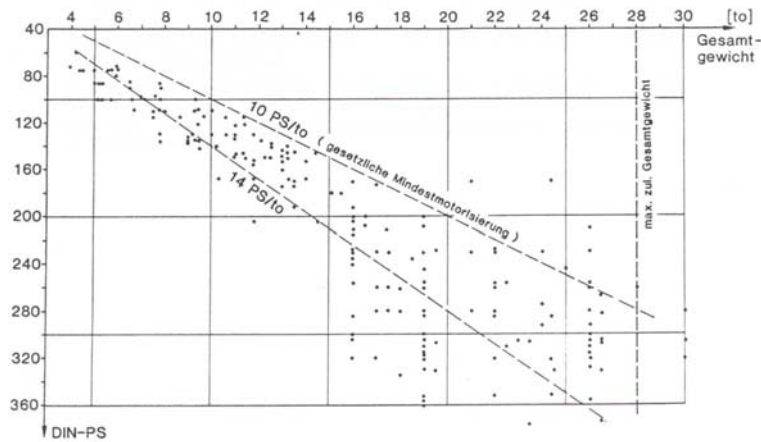
8.2.1 Motorisierung

Die Motorisierung immatrikulierter Lastwagen wird in der Schweiz statistisch nicht erfasst. Allerdings regelt die Strassenverkehrsverordnung die Mindestmotorisierung. Diese wurde im Betrachtungszeitraum mehrmalig geändert: Bis 1977 betrug das Mindestleistungsgewicht 8 PS/t. Zwischen 1977 und 1998 mussten Lastwagen mit 10 PS/t motorisiert sein, ab 1998, in Angleichung an die EU, 6.8 PS/t. Es zeigt sich aber, dass die Schweizer Lastwagen und die ausländischen Transitfahrzeuge meist viel besser motorisiert sind.

In der Untersuchung von Rotach (1960) wurde ein für die Schweiz typischer LKW von Saurer ausgewählt. Dieser hatten ein Leistungsgewicht von 8 PS/to. Dies entspricht in etwa dem im HCM 1950 als durchschnittlich motorisiert angegebenen LKW (Jahr 1941, 7.7 PS/t). Obwohl in den folgenden Jahren die Motoren immer stärker wurden, veränderte sich aufgrund der immer schwerer werdenden Fahrzeuge bezüglich Leistungsgewicht wenig. So gibt das HCM 1965 eine „nur“ 30%-ige Zunahme des Leistungsgewichts für die Jahre 1940-1965 an. In den HCM 1985 und 2000 finden sich keine Informationen zum Leistungsgewicht.

In der Untersuchung von Spacek und Düggele (1984) wurden Daten des internationalen Nutzfahrzeugkatalogs ausgewertet und Modelle, die auch in der Schweiz verkauft werden, in ein Diagramm (Abbildung 55) zusammengefasst.

Abbildung 55 Schweiz: Motorisierung der angebotenen LKW

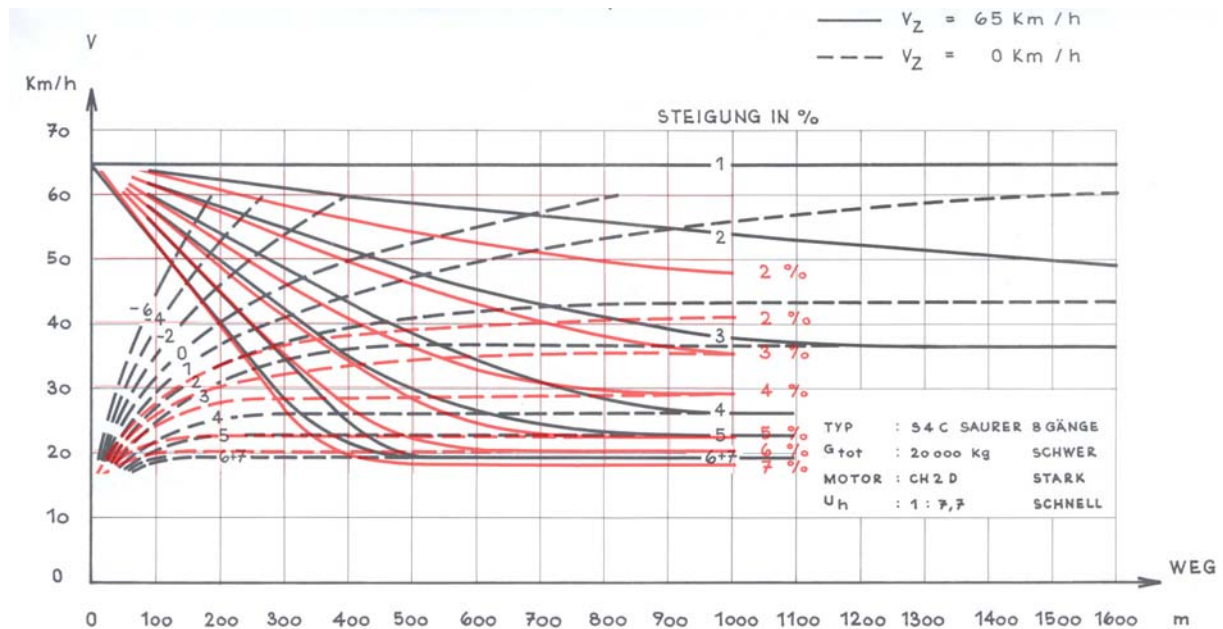


Quelle: Spacek und Düggele (1984), S. 27

8.2.2 Geschwindigkeiten in Steigungen

Ein zentraler Punkt bei Untersuchungen zu langsamen Fahrzeugen in Steigungen ist immer ein Diagramm der Geschwindigkeitsänderung je Steigung. Bei dieser Darstellung ist die Wahl des Bemessungslastwagens und dessen Beladung entscheidend. Rotach (1960) bestätigte mit seinen Werten die im HCM 1950 angegebenen Diagramme wie Abbildung 56 zeigt. Die Werte solcher Diagramme werden in der Regel durch Simulation errechnet und dann anhand von Messungen auf der Strasse auf ihre Plausibilität geprüft. Im HCM 1965 ist ein solches Diagramm für je einen LKW mit 6,8 PS/t und 11,02 PS/t angegeben. Erwartungsgemäss liegen die Geschwindigkeiten des schwächer motorisierten Fahrzeuges unter, die des stärkeren über denen der Fahrzeuge in Abbildung 56.

Abbildung 56 Geschwindigkeitsveränderung je Steigung: Rotach (schwarz), HCM (rot)



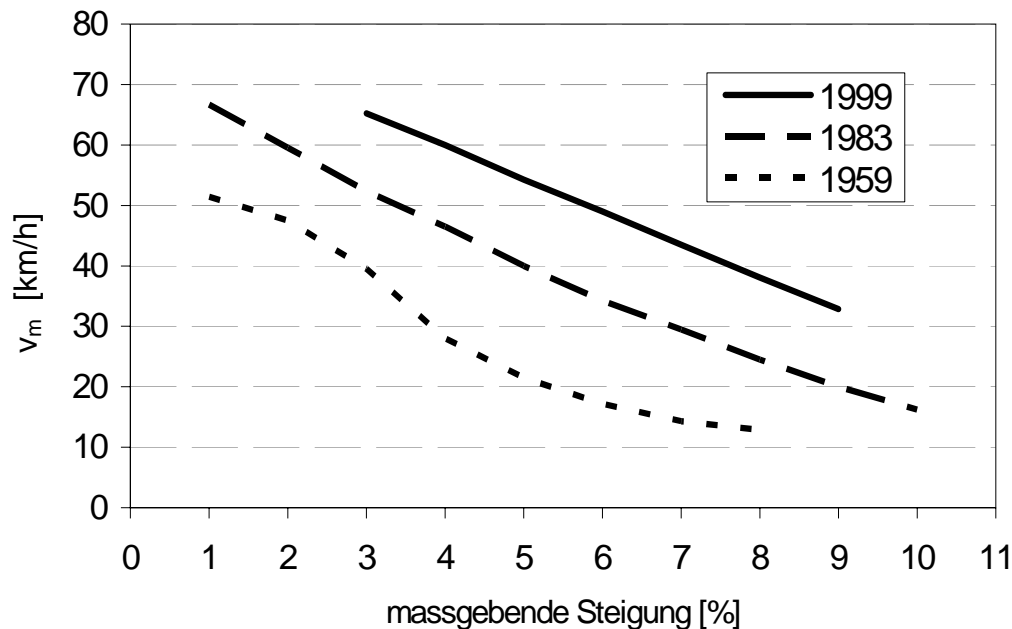
Quelle: Rotach (1960) S. 10 und 12

Aufgrund der Entstehungsweise solcher Diagramme sind Aussagen über die zeitliche Entwicklung nur beschränkt möglich. Die Diagramme sind in höchstem Masse von der Leistung des jeweiligen Bemessungs-LKWs abhängig. Wie gut dieser den tatsächlichen Verkehr widerspiegelt, ist eine andere Frage. Aussagekräftiger sind Geschwindigkeiten und Leistungsfähigkeiten, die auf Steigungsstrecken gemessen worden sind. Ebenfalls zweckmässig scheint das Nebeneinanderstellen der steigungs- und LKW-bedingten Abminderungsfaktoren, resp. der PW-Einheiten (Äquivalenzwerte).

8.2.3 Empirisch ermittelte Geschwindigkeiten

In der Schweiz wurden am IVT der ETH in den Jahren 1959, 1983 und 1999 Geschwindigkeiten an Steigungsstrecken gemessen. Die Unterschiede der LKW-Geschwindigkeiten sind beträchtlich. Zwischen 1959 und 1983 stiegen die $v_{15\%}$ -Geschwindigkeiten in Steigungen um 10-21 km/h, zwischen 1983 und 1999 um 13,5 km/h. Ein ähnliches Bild zeigt sich in Bezug auf die Gefällstrecken. Hier wurde zwischen 1983 und 1999 gar eine Geschwindigkeitssteigerung von 20 km/h festgestellt. Abbildung 57 zeigt die Unterschiede in Steigungsstrecken im Vergleich der Jahre 1959, 1983 und 1999.

Abbildung 57 Geschwindigkeitsveränderung je Steigung, Vergleich 1959/1983/1999



Quellen: Spacek und Düggele (1984), S. 46; Koy (2002)

8.2.4 Personenwagenäquivalente resp. Abnahme der Leistungsfähigkeit

Ein Vergleich der Personenwagenäquivalente lässt wie die Durchschnittsgeschwindigkeiten, Rückschlüsse auf den Einfluss der LKW auf den Verkehr zu. Über den Betrachtungszeitraum bietet nur das HCM genügend Werte für einen Vergleich. Bei genauerer Betrachtung der Daten wurde jedoch festgestellt, dass nur die Daten aus dem HCM (1965) und (1985) vergleichbar sind. Im HCM (1950) sind Randbedingungen eingeführt, die sich nicht auf die Daten von HCM (1965) resp. (1985) übertragen lassen und im HCM (2000) wird ein neues Verfahren eingeführt, welches eine Vergleichbarkeit verunmöglicht. Beim Vergleich der Daten aus HCM (1965) zu HCM (1985) fiel auf, dass die neueren Äquivalentwerte für jeweils gleiche Steigungslängen und -prozente deutlich unter denen von 1965 liegen. Im Schnitt liegen die Werte 35-40% (je nach LKW-Anteil) tiefer. Insbesondere bei längeren Steigungen liegen die Werte vom HCM (1985) massiv tiefer (bis 55%). Die Behinderung durch langsam fahrende LKW nahm wohl aufgrund verbesserter Fahrzeugtechnik und stärkerer Motorisierung auf Steigungen ab.

9 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

In der Aufgabendefinition in Abschnitt 1.1 wurde die Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit und die Ableitung von q-v-Funktionen für Schweizerische Strassen zum Ziel erklärt. Die zusammengefasste Aufstellung der Daten bildet das Ende des Berichts.

9.1 Geschwindigkeiten

Für jede Dekade und Strassentyp wird je zwei Geschwindigkeiten ausgewiesen: Zum einen die Durchschnittsgeschwindigkeit bei freiem Verkehr, zum anderen die Höchstgeschwindigkeit. Als Höchstgeschwindigkeit wird der Wert $v_{85\%}$ ausgewiesen. In den meisten Fällen beruhen die gemachten Angaben auf Mittelungen von in der Schweiz gemessenem Datenmaterial. Teilweise fehlte jedoch die nötige Datengrundlage: Hier wurde aufgrund von Daten und Entwicklungen aus dem Ausland (USA und Deutschland) versucht einen an die schweizerischen Verhältnisse angepassten Wert zu ermitteln. Aufgrund welcher Überlegungen ein solcher Wert entstanden ist, wird in den Fussnoten erläutert.

Tabelle 12 Schweiz: Geschwindigkeiten 1950-2000

		1950-1960	1960-1970	1970-1980	1980-1990	1990-2000
Autobahn	v_m	-	94 ¹	110	112	114
	$v_{85\%}$	-	108 ²	133	131	129
Landstrasse	v_m	81	86 ³	88 ⁴	80	77
	$v_{85\%}$	125	-	93 ⁵	92	86
Stadtstrassen	v_m	-	-	-	-	42.3
	v_{max}	-	-	-	-	50

¹ keine Daten vorhanden. Wert aus Deutschland übernommen und proportional (Vergleich D-CH 1972) abgemindert.

² keine Daten vorhanden. Wert ermittelt aufgrund Summenkurve HCM 1965 mit Ausgangswert $v_m = 94$ km/h bei freiem Verkehr

³ keine Daten vorhanden. Wert ermittelt mit Ausgangswert CH 1960 und Geschwindigkeitszunahme in den USA im Zeitraum 1960-1970

⁴ keine Daten vorhanden. Extrapolation deshalb Verlauf USA 1960-1974 mit Wert CH 1960

⁵ keine Daten vorhanden. Annahme etwa gleich bleibender Geschwindigkeiten wie in Deutschland in den Jahren 78-88

9.2 Leistungsfähigkeit

Wie schon in Abschnitt 7 erwähnt, herrscht zur Angabe der Leistungsfähigkeit grosser Mangel an entsprechenden Untersuchungen. Einzig in den USA wurden kontinuierlich solche Daten erhoben. Es stellt sich nun die Frage ob für Leistungsfähigkeitswerte der Vergangenheit einfach Ergebnisse aus den USA übernommen werden können und, falls ja, wie diese an die hiesigen Verhältnisse angepasst werden müssen. Ein Ansatz um solche Vergleiche anzustellen, ist die Gegenüberstellung der für die Leistungsfähigkeit massgebenden Faktoren. Dabei ist die Betrachtung auf die Werte der höchsten Leistungsfähigkeit und die Übertragbarkeit der Abminderungsfaktoren zu fokussieren.

Die HCM Daten, die die Grundlage bilden, entstanden unter so genannten *ideal conditions*. Abweichungen dieser Bedingungen mindern diese Werte ab. Das HCM führt als Effekte, die zu einer Abminderung führen, Spurbreite, seitliche Hindernisse, Standstreifen, LKW, Linienführung und Steigungen auf.

In welchem Masse die Abminderungen übernommen werden können, ist schwierig zu beurteilen. Um eindeutige Aussagen darüber machen zu können, benötigt man Messdaten, welche aber zugleich auch Grundlage einer Leistungsfähigkeitsuntersuchung wären. Solche Untersuchungen wurden aber nicht getätigt, daher ist eine Aussage über die Übertragbarkeit schwierig. Allerdings findet sich bei Rotach (1957) ein Abschnitt, worin die Reduktionsfaktoren des HCM 1950 mit aus Versuchen in der Schweiz ermittelten Werten verglichen werden. Es lässt sich herauslesen, dass die Leistungsfähigkeitsreduktion aufgrund von LKW in der Schweiz etwas geringer ausfiel wie in USA. Dabei ist zu bemerken, dass die im HCM (1950) veröffentlichten Daten jedoch wohl etwa 10 Jahre älter sind. Berücksichtigt man die technische Entwicklung der LKW, liesse sich eine 1:1 Übertragung eventuell rechtfertigen. Exemplarisch zeigt sich hier aber vor allem, wie wage Aussagen zur Übertragbarkeit sind. Hinzu kommt noch die Tatsache, dass auch die so genannten *ideal conditions* voneinander abweichen können.

Die *ideal conditions* umfassen, neben dem Nichtvorhandensein von den oben aufgeführten Einschränkungen, implizit auch die Fahreigenschaften der in den USA gebräuchlichen Fahrzeuge, die rechtlichen Randbedingungen und Fahrgewohnheiten. Gerade für die Einflüsse Fahreigenschaften und Fahrgewohnheit lässt sich der Unterschied zu hiesigen Verhältnissen wohl nur unbefriedigend abschätzen. Zwar wurde schon früh festgestellt, dass die Fahrgewohnheiten und das Fahrverhalten der Bevölkerung verschieden (USA defensiver und

gleichmässiger) sind. Wie sich diese Tatsache aber auf die Leistungsfähigkeit auswirkt, konnte aber nie schlüssig beurteilt werden.

In der Studie von Rotach (1957) wurden die aufgrund des HCM (1950) berechneten Leistungsfähigkeiten mit den aus den Messungen hervorgegangenen verglichen. Dabei fiel auf, dass die gemessenen Werte die im HCM angegebenen um 180-380 Fz/h übertrafen. Diese doch recht beträchtlichen Abweichungen lassen sich eventuell auch auf das abweichende Messintervall zurück zuführen, das in der Schweiz bei 15 Minuten lag. Die gemessenen Daten wurden, um auf das international gebräuchlichere 1-Std Intervall zu kommen, einfach mit dem Faktor 4 multipliziert. Überlegungen des Einflusses des Bezugsintervalls wurden zu dieser Zeit noch nicht berücksichtigt.

Insgesamt lassen sich Kennwerte der Leistungsfähigkeit nur ungenau und sehr wage auf verschieden Rand- oder Länderbedingungen umrechnen. Deshalb ist es wohl zweckmässiger bei der Angabe der Leistungsfähigkeit die Daten aus den verschiedenen HCM anzugeben, mit dem Vorbehalt, dass diese als Richtwert und niemals als absolut anzusehen sind.

Allenfalls könnten Simulationen mit den der Zeit entsprechenden Parametern der Fahrzeuge und Randbedingungen, weitere Ansätze zur Angabe von Kennwerten bieten.

Tabelle 13 Leistungsfähigkeit Landstrasse bei idealen Bedingungen, 1950-2000

Jahr	[Fz/h]	Quelle
1950-1960	2000	HCM 1950
1960-1970	2000	HCM 1965
1970-1980	2000	TGL 11684/01
1980-1990	2000/2200	RAS-Q 1982/HCM 1985
1990-2000	2500/2800	Brilon und Weiser 1997/HCM 2000

Tabelle 14 Leistungsfähigkeit Autobahn bei idealen Bedingungen je Spur, 1950-2000

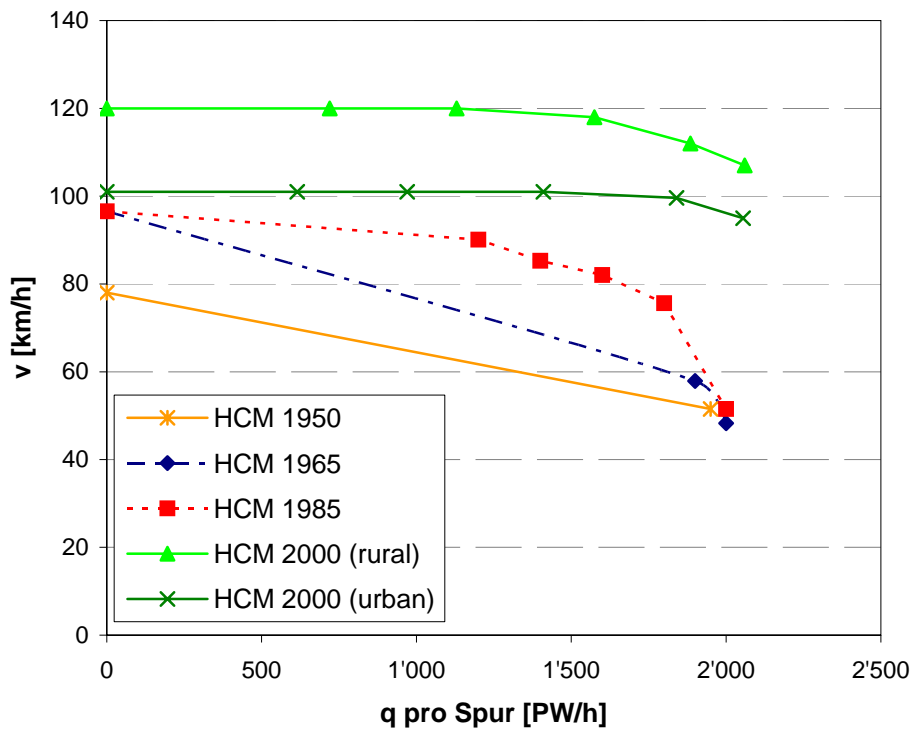
Jahr	[Fz/h]	Quelle
1950-1960	2000	HCM 1950
1960-1970	2000	HCM 1965
1970-1980	2000	TGL 11684/01
1980-1990	1800/1500	RAS-Q 1982/HCM 1985
1990-2000	2000/2300	Brilon et al. 1994/HCM 2000

9.3 q-v-Funktion

9.3.1 Autobahn

Um die Entwicklung des Geschwindigkeitsverhaltens aufzeigen zu können, zeigt Abbildung 58 eine Aufstellung der in den HCMs angegebenen q-v-Funktionen. Es fallen zunächst zwei Entwicklungen auf: Zum einen die Tendenz zu höheren Geschwindigkeiten, zum anderen die Veränderung der Funktionskurve. Dies entwickelte sich von einer fallenden Gerade im Jahre 1950 über eine über einen weiten Bereich gekrümmte Kurve zu einer Geraden, welche nur im Bereich sehr hoher Verkehrsstärken eine Krümmung aufweist. Bei wachsenden Verkehrsmengen wird also heute mit praktisch gleicher Geschwindigkeit gefahren wie bei freiem Verkehrsfluss, erst bei sehr hohen Verkehrsmengen beeinflusst die gegenseitige Behinderung die Geschwindigkeitswahl.

Abbildung 58 USA: Vergleich q-v-Funktionen für Autobahnen, 1950-2000



Quellen: HCM (1950, 1965, 1985, 2000)

Eine ähnliche Entwicklung lässt sich auch in der Schweiz feststellen: Bei der Analyse von Fundamentaldiagrammen, gemessen durch automatische Zählstellen auf Schweizer Autobahnen, zeigten sich den im HCM 2000 ähnliche q-v-Funktionen, bei allerdings höheren Geschwindigkeiten. Für einen Vergleich der früheren Jahre zwischen den USA und der Schweiz fehlt die Datengrundlage.

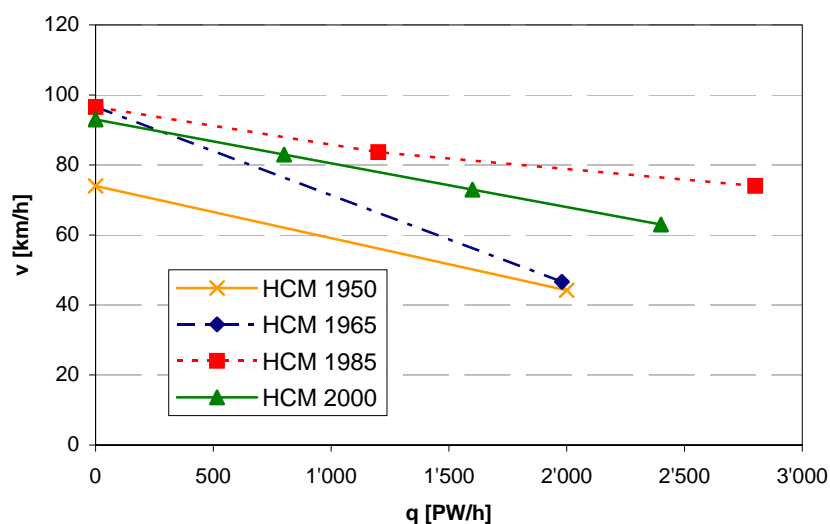
Bei einem Vergleich mit deutschen Daten (Zackor (1972) und Keller et al. (1985)) zeigt sich aber, dass die HCM-Daten mit den europäischen Daten bezüglich des Verlaufs der q-v-Funktion vergleichbar sind. So sinken die Geschwindigkeiten im Bereich bis 1500 Fz/Spur aufgrund der Angaben im HCM 1985 um 6,3km/h/1000Fz, während Messungen in Deutschland ein Absinken von 7,8km/h/1000Fz (2-spurig), resp. 3,4km/h/1000Fz (3-spurig) aufzeigen. Ähnliches zeigt sich beim Vergleich von Daten aus Zackor (1972) mit Daten aus HCM (1965): Hier bewegen sich die Werte beider Quellen im Bereich einer Abnahme von 20/km/h je 1000 Fz. Diese Zahl wurde für ein Verkehrsstärkenbereich von 500-1500 Fz errechnet.

Aufgrund dieser Vergleiche kann also angenommen werden, dass, nach Anpassung an die jeweilige mittlere Geschwindigkeit, die Kurven als Anhaltspunkt für das Geschwindigkeitsverhalten in der Schweiz übernommen werden können.

9.3.2 Landstrasse

Die q-v-Funktionen zeigen ein anderes Bild. In Abbildung 59 ist ersichtlich, dass alle q-v-Funktionen ungefähr linear verlaufen. Wie schon bei den Autobahnen kann festgestellt werden, dass die Kurven immer flacher wurden. Weiter fällt der Geschwindigkeitsanstieg von 1950 bis 1965 auf, später stagnierten die Geschwindigkeiten.

Abbildung 59 USA: Vergleich q-v-Funktionen für Landstrassen, 1950-2000



Quellen: HCM (1950, 1965, 1985, 2000)

Um Aussagen über eine allfällige Übertragbarkeit auf schweizerische Verhältnisse zu machen, werden die q-v-Funktionen wiederum verglichen: Da in der Schweiz nur Daten von Rotach (1960) vorliegen, werden dabei auch auf die Messungen von Sachse und Keller (1992) und Brilon und Weiser (1997) als Vergleichsdaten herangezogen. Rotach (1960) führte den Vergleich gleich selbst durch (siehe Abbildung 47). Die Daten sind durchaus vergleichbar. Bei einem Vergleich der HCM (1985) resp. HCM (2000) Daten mit den von Sachse und Klerr (1992) resp. Brilon und Weiser (1997) zeigen sich ebenfalls Übereinstimmungen, auch hier

kann ein linearer Verlauf angenommen werden. Weiter sind in den jeweils älteren Messungen die Geschwindigkeitsabnahmen je 1000 Fz geringer (Kurve also flacher), wobei die amerikanischen Werte jeweils etwas unter den deutschen liegen. Weil nur Grafiken dieser Messungen, nicht aber die Datensätze dieser Messungen vorliegen, lassen genauere Aussagen kaum verlässlich angeben. Dennoch scheint die Annahme einer Übertragung der q-v-Funktion mit Anpassung an die in der Schweiz gefahrenen Geschwindigkeiten berechtigt.

9.4 Vorschläge für q-v-Funktionen (Schweiz)

9.4.1 Vorgehen

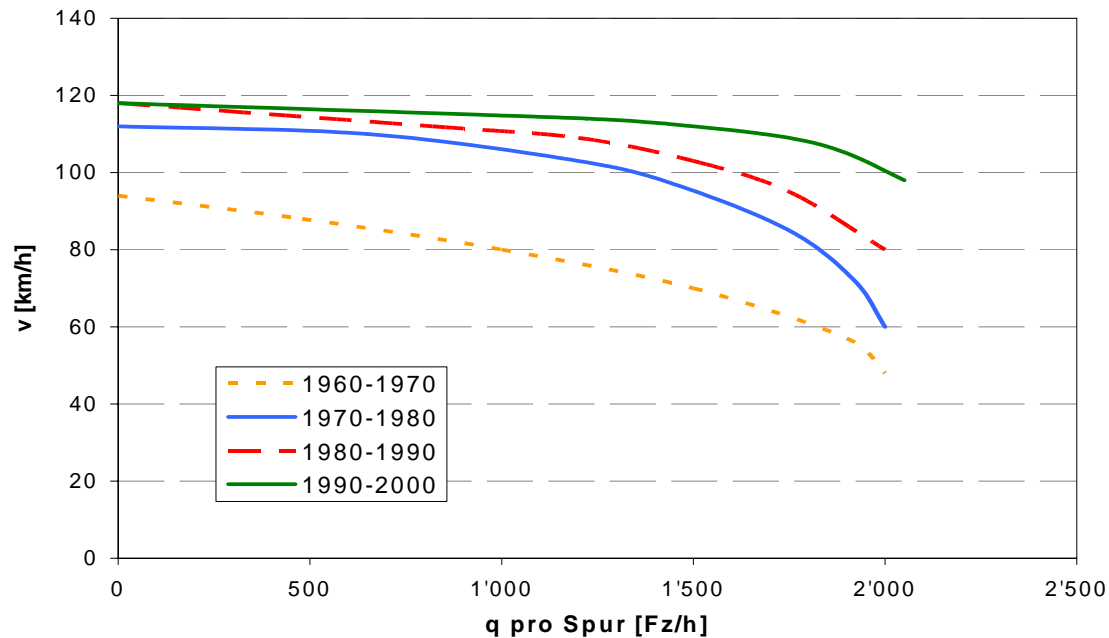
Aufgrund der bekannten Anhaltspunkte, die je für Autobahn und Landstrasse angegeben sind, werden q-v-Funktionen vorgeschlagen. Wie im Abschnitt 9.3 begründet, werden die HCM-Funktionen auf schweizerische Verhältnisse angepasst. Als weitere Anhaltspunkte werden die aus Messungen ermittelten mittleren Geschwindigkeiten v_m und, wo vorhandenen, die entsprechen Verkehrsstärken verwendet. Des Weiteren fanden Geschwindigkeitsbegrenzungen und aktuelle Messreihen beim Entwurf der Funktionen Eingang. Es ist zu bemerken, dass diese Funktionen nicht absolut gesehen werden können und nur als Richtlinie dienen sollen.

9.4.2 Autobahn

Den Verlauf der q-v-Funktionen für Autobahnen in der Schweiz, wie Abbildung 60 zeigt, bestimmen folgende Faktoren:

- Verlauf; aus vergleichbaren Funktionen
- v_m und dazugehöriges q aus Messdaten der Geschwindigkeiten im freien Verkehr
- Geschwindigkeitsbeschränkungen
- v_{krit} und q_{krit} ; aus verschiedenen Quellen
- aktuelle Fundamentaldiagramme (Schweiz)

Abbildung 60 Schweiz: Vorschlag für q-v-Funktionen auf Autobahnen



Bei einem Vergleich der Kurve aus dem HCM 1950, wie in Abbildung 58 gezeigt, erkennt man, dass der Verlauf von einer linearen Funktion zu einer konvexen, wie in den späteren Jahren üblich, geändert wurde. Dies geschah aus der Überlegung, dass die im HCM 1950 angegebene Kurve neben Messdaten wohl auch auf theoretischen Überlegungen basiert. Der theoretische Ansatz führte zu einem eher linearen Verlauf. Es ist aber wohl anzunehmen, dass der später in der Praxis gemessene Verlauf auch auf die Jahre 1950-1960 angewendet werden darf.

Aufgrund der q-v-Funktion können die in Tabelle 15 angegebenen Parameter der Capacity Restaint Funktion (BPR-Funktion) abgeleitet werden. Die Fahrzeit t_i bei der Belastung q_i ergibt sich in der Capacity Restaint Funktion wie folgt:

$$t_i = t_{0i} \left(1 + \alpha \left(\frac{q_i}{L_i} \right)^\beta \right)$$

mit,

t_{0i} Fahrzeit bei unbelasteter Strecke

L_i Leistungsfähigkeit

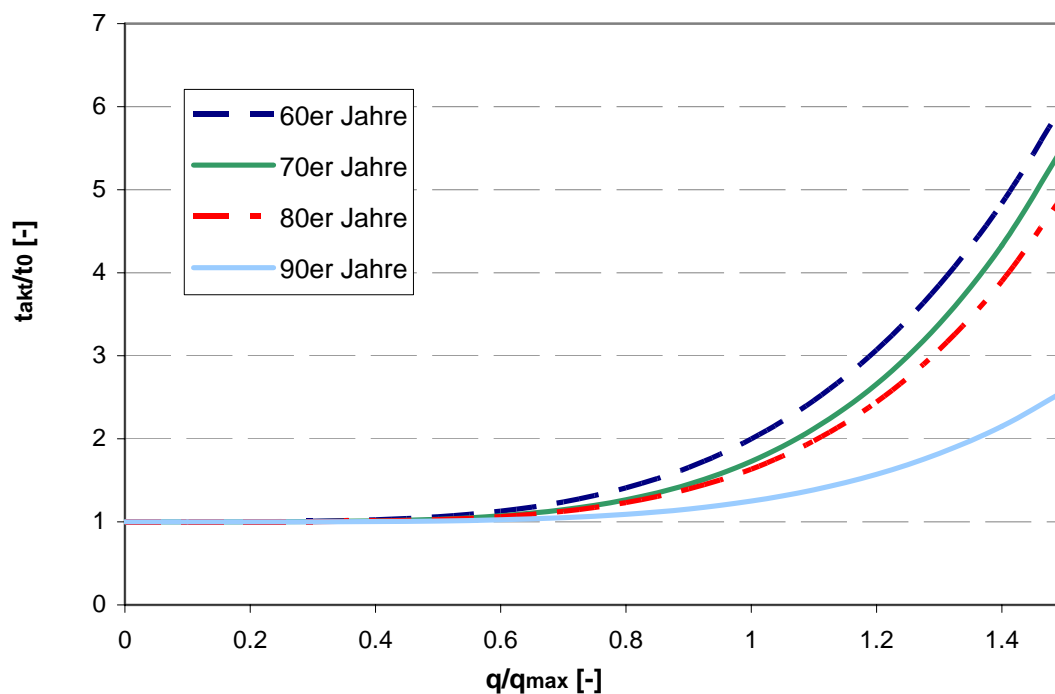
α, β Parameter

Tabelle 15 Geschätzte Parameter der CR-Funktion für Autobahnen

Jahr	α	β
1960-1970	1,00	4,00
1970-1980	0,73	4,51
1980-1990	0,63	4,51
1990-2000	0,20	4,54

Bei der Schätzung der Parameter wurde auf die Minimierung der Residuen optimiert. Der α -Wert für die 90er-Jahre mit 0,20 bedeutet, dass bei einer vollausgelasteten Autobahn mit einem Tempolimit von 120 km/h die Fahrzeuge 100 km/h fahren. Verglichen mit empirischen Daten ist dieser Wert hoch, deshalb sollte ein α von 0,25-0,30 in Berechnungen verwendet werden, wie auch in Bovy und van der Zijpp (2000) empfohlen wird. In Abbildung 61 sind die errechneten Kurven dargestellt.

Abbildung 61 CR-Funktion für Autobahnen

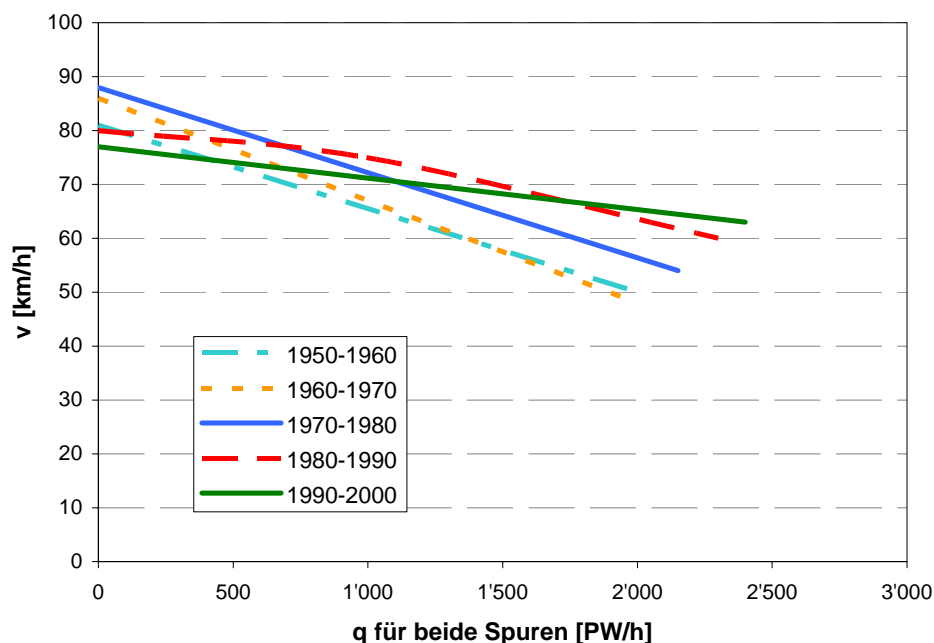


9.4.3 Landstrasse

Den Verlauf der q-v-Funktionen für Landstrassen in der Schweiz, Abbildung 62, bestimmen folgende Faktoren:

- linearer Verlauf
- v_m im freien Verkehr
- Geschwindigkeitsbeschränkungen
- v_{krit} und q_{krit} ; aus verschiedenen Quellen

Abbildung 62 Schweiz: Vorschlag für q-v-Funktionen auf Landstrassen



Aufgrund der geringeren Anzahl an Anhaltspunkten haben die in den HCMs angegebenen Funktionen grösseres Gewicht. Da für die Jahre 1970-1980 kein HCM vorliegt, welches einen Anhaltspunkt bieten könnte, wird hier eine Mittelung der Funktionen der 60er und 80er Jahre verwendet.

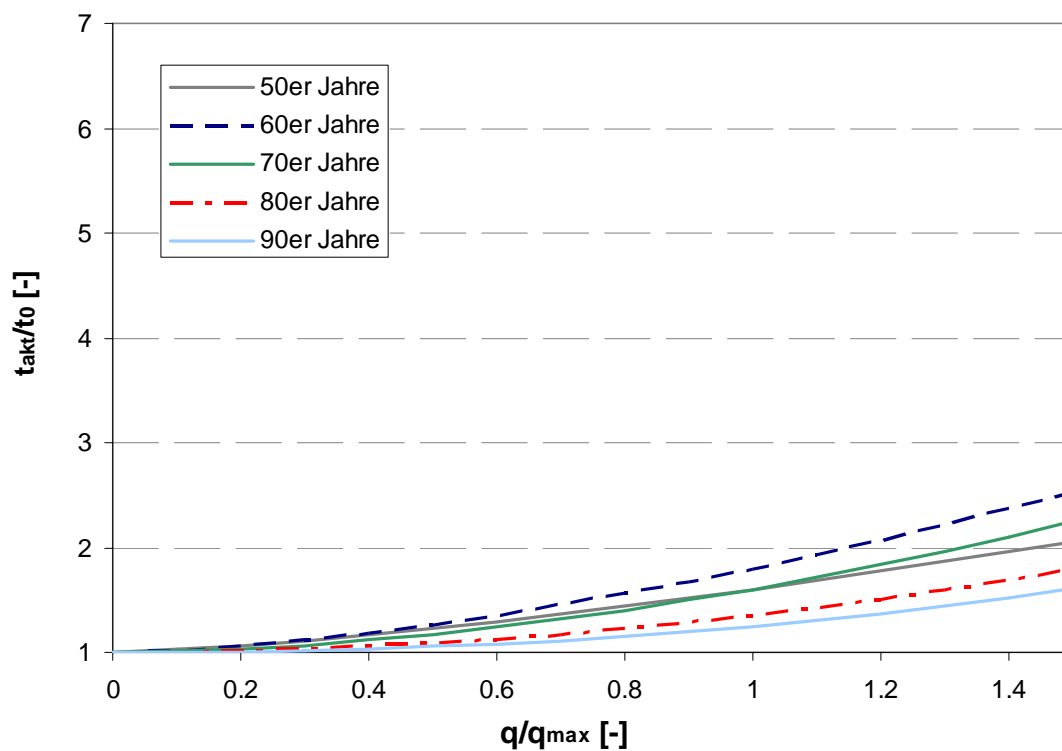
Für die q-v-Funktionen ergeben sich die in Tabelle 16 aufgelistete Parameter für die CR-Funktion. Da nur zwei Messwerte, Geschwindigkeit bei freiem Verkehrsfluss und Geschwindigkeit bei voller Auslastung, zur Verfügung standen, konnte nur der α -Wert geschätzt werden. Der β -Wert wurde anhand des heute üblichen Wertes und der Entwicklung des Parame-

ters für Autobahnen festgelegt. In Abbildung 63 sind die zugehörigen Kurven für die angegebenen Parameter dargestellt.

Tabelle 16 Geschätzte Parameter der CR-Funktion von Landstrassen

Jahr	α	β
1950-1960	0,60	1,40
1960-1970	0,80	1,60
1970-1980	0,60	1,80
1980-1990	0,35	2,00
1990-2000	0,25	2,20

Abbildung 63 CR-Funktion für Landstrassen



10 Danksagung

Die Autoren möchten sich bei den Herrn Thorsten Koy, Hans-Peter Lindenmann, Peter Spazek und Thomas Weber von der Gruppe Individualverkehr des IVT für die Unterstützung und die Bereitstellung von Datenmaterial herzlich bedanken. Für Hinweise auf europäische Publikationen zum bearbeiteten Thema ist den Herrn Prof. Wilhelm Leutzbach (Uni Karlsruhe), Prof. Peter Hills (University of Newcastle), Prof. Franz Pischinger und Dr. Matthias Schneider (FEV Motorentechnik, Aachen) und Dr. Wolfgang Vogt (Universität Stuttgart) zu danken.

Unser besonderer Dank gilt Herrn Prof. Kay W. Axhausen für die kritische Durchsicht der Arbeit und für viele zielführende Hinweise.

11 Literatur

- Axhausen, K.W. und P. Keller (2002) Entwicklung des Transitverkehrs-Systems und dessen Auswirkungen auf die Raumnutzung in der Schweiz, Kurzinformation zum Forschungsprojekt im Rahmen der COST Action 340, IVT ETHZ, Zürich, http://www.ivt.baug.ethz.ch/vrp/projekte_cost340_d.html.
- Barbe, H. (1981) *Langsame Fahrzeuge im Verkehrsfluss*, Eidgenössisches Departement des Innern, Bundesamt für Strassenbau, Forschungsauftrag, **17/78**, Bern.
- Beckmann, H., F. Jacobs, K.-H. Lenz, R. Wiedemann und H. Zackor (1973) Das Fundamentaldiagramm, *Forschungsarbeiten aus dem Strassenwesen*, **89**, Kirschbaum Verlag, Bonn-Bad Godesberg.
- Bezzola, D. (1998) Interpellation Nr.: 98.3668, Landverkehrsabkommen mit der EU. Flankierende Massnahmen, http://www.parlament.ch/afs/data/d/gesch/1998/d_gesch_19983668.htm.
- Bitzl, F. (1965) Erfahrungen mit zeitweisen Geschwindigkeitsbeschränkungen auf überlasteten Autobahnen, *Strassenbau und Strassenverkehrstechnik*, **36**, Bundesminister für Verkehr, Bonn.
- Bickelhaupt, R. (1991) Beurteilung des dreistreifigen Querschnittstyps b2+1 unter besonderer Berücksichtigung des Schwerverkehrs, *Veröffentlichungen des Institutes für Strassen- und Eisenbahnwesen der Universität Karlsruhe (TH)*, **38**, Karlsruhe.
- Bovy, P.H.L. und N.J. van der Zijpp (2000) Transportation Modelling, *Vorlesungsunterlagen*, TU Delft, Delft.
- Brannolte, U. (1980) Vorschlag für einen neuen Bemessungs-LKW, *Strassenverkehrstechnik* **24** (7).
- Brilon, W., M. Grossmann und H. Blanke (1994) Verfahren für die Berechnung der Leistungsfähigkeit und Qualität des Verkehrsablaufs auf Strassen, *Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik*, **669**, Bundesminister für Verkehr, Bonn-Bad Godesberg.
- Brilon, W. und F. Weiser (1997) Ermittlung von q-v-Diagrammen für zweistreifige Strassen ausserhalb geschlossener Ortschaften, *Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik*, **747**, Bundesministerium für Verkehr, Bonn-Bad Godesberg.
- Bundesamt für Statistik (verschiedene Jahre), *Motorfahrzeugbestand in der Schweiz*, Bern.
- Buck, M. (1992) Geschwindigkeitsverhalten auf einbahnigen Ausserortsstrassen in Abhängigkeit von baulichen, betrieblichen und verkehrlichen Randbedingungen, *Forschung Strassenbau und Verkehrstechnik*, **621**, Kirschbaum Verlag, Bonn-Bad Godesberg.
- Dietrich, K. und H. P. Lindenmann (1997) Verkehrsgeschehen auf Autobahnen, Bern.

- Dietrich, K. und P. Spacek (1994) Nationalstrasse N2 Basel-Chiasso Kapazitätsuntersuchung, Verkehrstechnische Studie zur Beurteilung der heutigen Kapazitätsverhältnisse, *Schriftenreihe*, **104**, IVT, ETH Zürich, Zürich.
- Dietrich, K., M. Rotach und R. Boppart (1998) Strassenprojektierung, *Skriptum*, IVT ETH Zürich, Zürich.
- Dietrich, K., H.P. Lindenmann und Y. Chabot-Zhang (1998) 25 Jahre IVT-Messungen zum Verkehrsablauf auf Autobahnen, *Schriftenreihe*, **118**, IVT, ETH Zürich, Zürich.
- Eisenmann, J. (1964) Einfluss der Fahrleistung und Steigung des Fahrweges auf die Leistungsfähigkeit von Schiene und Strasse, *Habilitationsschrift*, Technische Hochschule München, München.
- FEV (2003) Marktbeobachtung der FEV Motorentchnik, Aachen.
- Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (2001) Handbuch für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen (HBS), FGSV, Köln.
- Giger, H. (1985) *Strassenverkehrsgesetz (SVG)*, Verlag Orell Füssli, Zürich.
- Heidemann, D. und R. Hotop (1984) Verteilung der Pkw-Geschwindigkeiten im Netz der Bundesautobahnen, *Strasse und Autobahn*, **35** (5) 190.
- Heidemann, D. und P. Wimber (1984) Auswertung kontinuierlich erhobener Geschwindigkeitsdaten an neun automatischen Langzeitzählstellen auf Autobahnen und Bundesstrassen, *Strasse und Autobahn*, **35** (12) 495.
- Heidemann, D. (1989) Auswertung kontinuierlich erhobener Geschwindigkeitsdaten auf Autobahnen und Bundesstrassen im Zeitraum 1978 bis 1988, *Strassenverkehrstechnik*, **33** (5) 166.
- Heller, M. und A. Volk (1999) Die Schweizer Autobahn, Publikation zur Ausstellung „Die Schweizer Autobahn“ März-Mai 1999, *Museum für Gestaltung*, Zürich.
- Highway Research Board (1950) *Highway Capacity Manual*, National Academy of Sciences – National Research Council, Washington D.C.
- Highway Research Board (1965) *Highway Capacity Manual*, National Academy of Sciences – National Research Council, Washington D.C.
- Transportation Research Board (1985) *Highway Capacity Manual*, National Academy of Sciences – National Research Council, Washington D.C.
- Transportation Research Board (2000) *Highway Capacity Manual*, National Academy of Sciences – National Research Council, Washington D.C.
- Hotop, R., H. Keller und R. Linde (1983) Geschwindigkeitsentwicklung auf Bundesautobahnen, *Strassenverkehrstechnik*, **27** (4) 184.

- Hurlde, V. F. und P. K. Datta (1983) Transportation Research Board, Traffic Flow, Capacity, and Measurements, Transportation Research Record, *National Research Council National Academy of Sciences*, Washington D.C.
- Keller, H., H. Hampe und H.-G. Wagner (1987) Zeitliche Trends im Verkehrsablauf auf Autobahnen, *Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik*, **494**, Bundesminister für Verkehr, Bonn-Bad Godesberg.
- Knoflacher, H. (1987) *Verkehrsplanung für den Menschen*, Band 1, Grundstrukturen, Verlag Orac, Wien.
- Köhler, U. (1976) Geschwindigkeitsverhalten auf Autobahnen, *Strassenverkehrstechnik*, **20** (3) **73**.
- Köppel, G. (1973) Die neue RAL-L-1, *Strasse und Autobahn*, **24** (10) 155.
- Korte, J. W. (1960) Grundlagen der Strassenverkehrsplanung in Stadt und Land, Aachen.
- Korte, J. W. (1956) Die Geschwindigkeit im Strassenverkehr, *Strasse und Autobahn*, **7** (5) 151.
- Koy, Th. (2002) Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen, Vortrag am IVT-Seminar, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, Zürich, November 2002.
- Lerner, G. (1987) PW-Konzepte, -Eigenschaften und -Grundparameter, Darstellung der Entwicklung und Einflussgrößen, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Aachen.
- Leutzbach, W. (1972) *Einführung in die Theorie des Verkehrsflusses*, Springer Verlag, Berlin.
- Lindenmann, H. P., J. Thoma, und R. Zuberbühler (1993) *Tempo 80/120* Ergänzungsuntersuchungen, *Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung (bfu)*, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau (IVT), ETH Zürich, Zürich.
- Lindenmann, H. P., St. Bürgler und R. Zuberbühler (1993) *Geschwindigkeits- und Abstandverhalten auf Autobahnen bei Tempo 70/100 und 80/120*, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau (IVT), ETH Zürich, Zürich.
- Lindenmann, H. P. und R. Zuberbühler, (1993) Geschwindigkeiten auf verschiedenen Strassentypen, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau (IVT), ETH Zürich, Zürich.
- OECD (1985) Leistungsfähigkeiten von Hauptverkehrsstrassen, Bericht einer wissenschaftlichen Expertengruppe der OECD, *Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik*, **445**, Bundesminister für Verkehr, Bonn-Bad Godesberg.
- Ott, K. (1977) Leistungsfähigkeit von Gebirgsautobahnen, *Dissertation*, Fakultät für Bauingenieurwesen und Architektur, Universität Innsbruck, Innsbruck.

- Pampel, F. (1955) Ein Beitrag zur Berechnung der Leistungsfähigkeit von Strassen, *Forschungsarbeiten aus dem Strassenwesen*, **15**, Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen e.V., Bielefeld.
- Rotach, M. C. (1957) Untersuchungen über die Leistungsfähigkeit von Überlandstrassen, *Mitteilungen*, **6**, Institut für Strassenbau ETH Zürich, Zürich.
- Rotach, M. C. (1958) Das Motorrad im Überlandverkehr, *Mitteilungen* **7**, Institut für Strassenbau ETH Zürich, Zürich.
- Rotach, M. C. (1960) Geschwindigkeiten auf zweispurigen Überlandstrassen, *Mitteilungen*, **8**, Institut für Strassenbau ETH Zürich, Zürich.
- Rotach, M. C. (1960) Lastwagen auf Steigungen, *Mitteilungen*, **9**, Institut für Strassenbau, ETH Zürich, Zürich.
- Sachse, T. und H. Keller (1992) Einfluss des Bezugsintervalls in Fundamentaldiagrammen auf die zutreffende Beschreibung der Leistungsfähigkeit von Strassenabschnitten, *Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik*, **614**, Bundesminister für Verkehr, Bonn-Bad Godesberg.
- Schleicher-Jester, F. (1995) Leistungsfähigkeit innerörtlicher Hauptverkehrsstrassen im motorisierten Individualverkehr bei verschiedenen Geschwindigkeiten, *Dissertation*, Fachbereich Architektur/Raum- und Umweltplanung/Bauingenieurwesen der Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern.
- Schlums, J. (1955) Untersuchungen des Verkehrsablaufes auf Landstrassen, Lehrstuhl und Institut für Verkehrswirtschaft, Strassenwesen und Städtebau der Technischen Hochschule Hannover, Hannover.
- Schnabel, W. und D. Lohse (1997) *Grundlagen der Strassenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung*, Band I, Verlag für Bauwesen, Berlin.
- Spacek, P. und Ph. Düggeli (1984) Geschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen und Gefällen, Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement, Bundesamt für Strassenbau, Bern.
- Sulger-Büel, S. (1967) Kenngrößen von Personenwagen, *Institut für Strassen- und Untertagebau*, ETH Zürich, Zürich.
- Trapp, K.-H. (1980) Entwicklung eines Bemessungsverfahrens für Strassen nach den Kriterien der Verkehrsqualität und Wirtschaftlichkeit, *Schriftenreihe Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik*, **304**, Bundesminister für Verkehr, Bonn.
- Vereinigung Schweizer Strassenfachleute (1999) Schweizer Norm 640 018, Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit, Freie Strecken auf Autobahnen, Vereinigung Schweizer Strassenfachleute (VSS), Zürich.
- Vereinigung Schweizer Strassenfachleute (1999) Schweizer Norm 640 020, Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit, Hauptverkehrs- und Verbindungsstrassen, Vereinigung Schweizer Strassenfachleute (VSS), Zürich.

Wardrop, J. P. (1952) Some theoretical aspects of road traffic research, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, Part II, **1**, 325-362.

Wehner, B. (1939) Die Leistungsfähigkeit von Strassen, *Technische Hochschule Berlin*, Berlin.

Wermuth, M. (2002), Stadtverkehrsplanung und Strassenverkehrstechnik, *Vorlesungsskriptum*, TU Braunschweig, Braunschweig.

Zackor, H. (1972) Beurteilung verkehrsabhängiger Geschwindigkeitsbeschränkungen auf Autobahnen, *Strassenbau und Strassenverkehrstechnik*, **128**, Bundesminister für Verkehr, Bonn.

Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge, http://www.admin.ch/ch/d/sr/741_41/a97.html#fn1, Art. 97 Abs. 2a, Schweizer Gesetzessammlung.