

4 Grundsätzliche Überlegungen zur Geschwindigkeit

Im Verkehrswesen stellt die Geschwindigkeit bzw. die Reisezeit eine zentrale Größe dar. Sie gilt dabei gewöhnlich als objektiv messbare, physikalische Größe. Ferner erscheint sie damit als verlässliche Rechengröße und als gute Grundlage, um später beurteilen zu können, ob man sein Ziel in der Planung erreicht hat. Bei genauerem Hinsehen aber stellen sich Fragen:

- *Was genau ist Geschwindigkeit?*
- *Wessen Geschwindigkeit ist wichtig? Die Geschwindigkeit von Einzelnen oder von Vielen?*
- *Wann ist eine Geschwindigkeit angemessen? Ist hohe Geschwindigkeit besser als niedrige?*
- ...

Weil sich an diesen Fragen einige planerisch bedeutsame Sachverhalte verdeutlichen lassen, werden Geschwindigkeit und Reisezeit im Folgenden thematisiert. Dabei sind in Bezug auf die Planung folgende Punkte und grundsätzliche Botschaften wichtig:

- Geschwindigkeit und Reisezeit sind Teile des Zieles, das man erreichen möchte. Zeitersparnisse beim Reisen sind letztlich ein Ziel der meisten Planungen im Verkehrswesen. Deshalb sind genaue Definitionen entscheidend (Beispiel Reisegeschwindigkeit vs. Fahrgeschwindigkeit)
- Um Geschwindigkeiten beurteilen und bewerten zu können, muss der Kontext, z.B. die Wettbewerbssituation der Verkehrsträger oder die ökologische Situation, bedacht werden. Je nach definiertem Ziel kann sich damit das Koordinatensystem der Beurteilung verschieben (Beispiel Emissionsoptimale Geschwindigkeiten).
- Hohe Geschwindigkeit eines Einzelnen kann im Widerspruch zu geringen Reisezeiten für alle stehen (Beispiel Fundamentaldiagramm). Folglich müssen auch hier in der Planung entsprechende Zielsetzungen definiert werden.
- Geschwindigkeiten, sowohl die des Einzelnen als auch die von vielen (z.B. ein Fahrzeugstrom), sind bestimmten Rahmenbedingungen unterworfen und können gewisse Grenzen (Kapazitäten) nicht überschreiten (Beispiel Fundamentaldiagramm).

Diese Zusammenhänge werden im Folgenden anhand von Beispielen erläutert.

4.1 Reisegeschwindigkeit versus Fahrgeschwindigkeit

Zunächst ist wichtig, Geschwindigkeit zu definieren. Hier ist zu unterscheiden zwischen Fahr- und Reisegeschwindigkeit. **Fahrgeschwindigkeit** ist die Geschwindigkeit mit der sich das Hauptverkehrsmittel, mit dem man unterwegs ist, z.B. der Zug oder das Auto, bewegt. Die **Reisegeschwindigkeit** schließt die Rüstzeiten am Anfang und am Ende der Fahrt mit ein, z.B. die Straßenbahnfahrt zum Bahnhof oder den Fußweg zum Auto. Damit sind Reisegeschwindigkeiten immer geringer als die Fahrgeschwindigkeiten. Allgemein gilt, dass die

Rüstzeiten länger werden, je schneller das Hauptverkehrsmittel ist: Während man als Fußgänger praktisch keine Rüstzeiten hat, sind sie beim Flugzeug sehr lang.

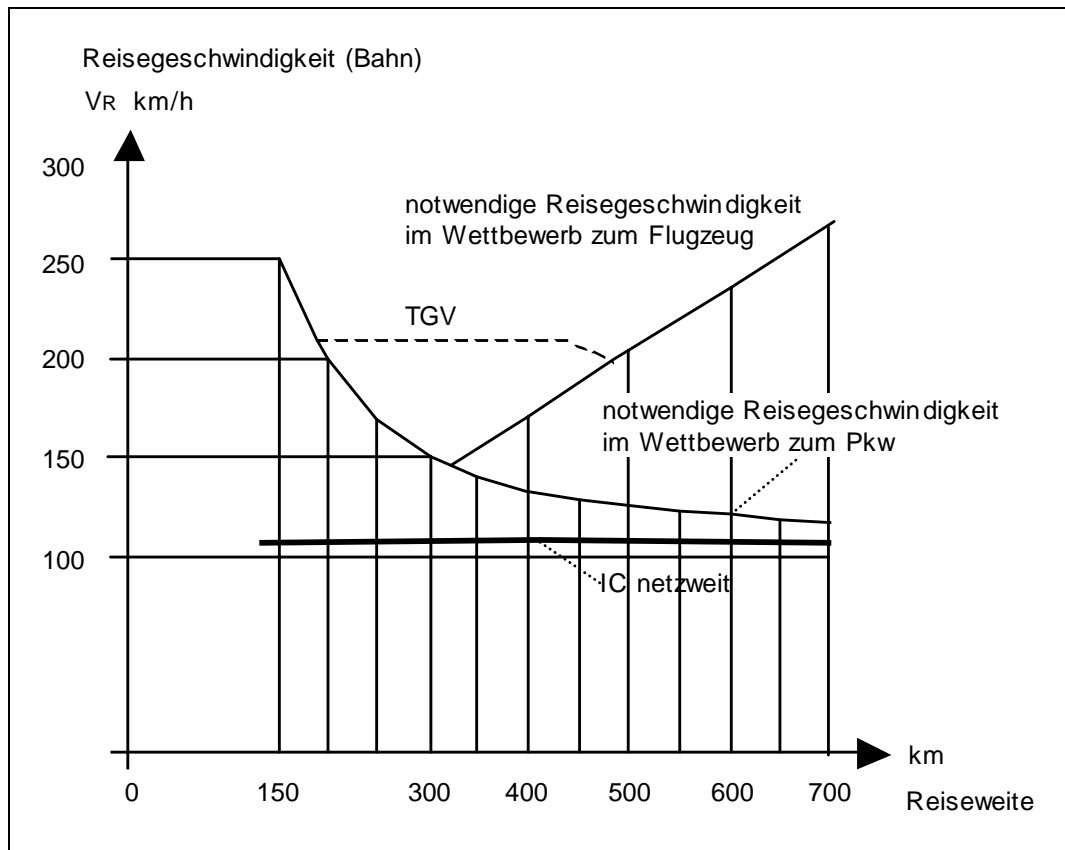


Abbildung 4-1: *Reisegeschwindigkeitsspezifische Entfernungsbereiche verschiedener Verkehrsmittel; Die Abbildung stammt aus der Zeit, als man den Markt für Hochgeschwindigkeitszüge (hier TGV) abschätzte.*

Bestimmte Fahrgeschwindigkeiten lohnen sich erst ab gewissen Distanzen. Unterhalb dieser Distanz wird der Vorteil der Fahrgeschwindigkeit durch die hohen Rüstzeiten zunichte gemacht. Damit ergeben sich für die verschiedenen Verkehrsmittel spezifische Märkte in gewissen Entfernungsbereichen (Abbildung 4-1).

4.2 Emissionsoptimale Fahrgeschwindigkeiten

Geschwindigkeiten haben externe Effekte, z.B. Emissionen. Berücksichtigt man diese bei der Beurteilung und Bewertung, ergibt sich ein anderes Bild, als wenn man die Betrachtung lediglich auf verkehrliche Aspekte reduziert. Spezifischer Schadstoffausstoß für verschiedene Pkw-Fahrgeschwindigkeiten sind in Abbildung 4-2 dargestellt. Es zeigt sich, dass emissionsoptimale Geschwindigkeiten unterhalb dessen liegen, was bei längeren Autofahrten üblich ist. Hier zeigt sich, dass verschiedene Ziele der Planung (Umwelt und Zeitersparnisse) häufig miteinander in Konflikt liegen.

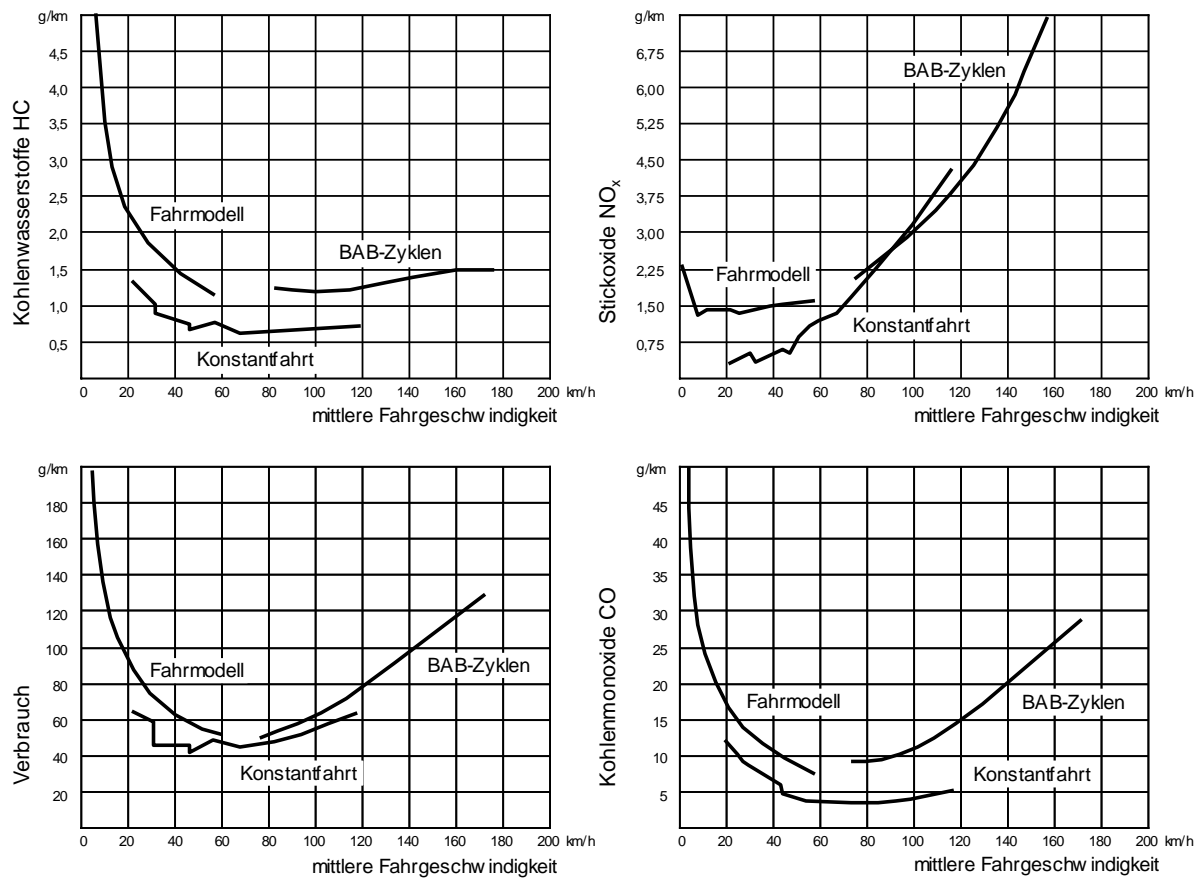


Abbildung 4-2: Emissionen und Verbrauch über mittleren Fahrgeschwindigkeiten

4.3 Fundamentaldiagramm und die begrenzten Kapazitäten der Infrastruktur

In engem Zusammenhang mit der Geschwindigkeit stehen die Größen Verkehrsstärke Q [Kfz/h] und Verkehrsdichte K [Kfz/km].

Für Elemente der Verkehrsinfrastruktur gilt wie für Elemente von Bauwerken, dass ihre Belastbarkeit begrenzt ist, d.h. sie haben eine Kapazität. Dies soll im folgenden am Beispiel der Straße dargestellt werden, es gilt aber prinzipiell ebenso für Bahnlinien oder Flughäfen.

Die begrenzte Leistungsfähigkeit von Straßen hat zur Folge, dass Stau nicht nur durch Unfälle oder Baustellen entsteht, sondern seinen Grund auch in der schlichten Überlastung der Straße haben kann.¹

¹ Die Zusammenhänge zwischen Leistungsfähigkeit und Überlastungen werden in der Vorlesung Verkehrswesen eingehender erläutert.

Notwendige Definitionen und Zusammenhänge:

- Mit **V** wird die **Geschwindigkeit** von Fahrzeugen auf einer Strecke in [km/h] bezeichnet.
- Mit **K** wird die **Verkehrsdichte** [Kfz/km] bezeichnet, die beschreibt, wie viele Fahrzeuge sich auf einem definierten Streckenabschnitt befinden. Sie stellt gewissermaßen eine „Luftbildaufnahme des Verkehrs auf einer Strecke“ dar.
- **Q** steht für die **Verkehrsstärke** an einem Querschnitt. Sie wird gemessen als Fahrzeuge, die in einer Zeiteinheit einen Querschnitt passieren [Kfz/h].

Damit gilt der wichtige Zusammenhang:

$$Q = V * K \quad [1]$$

Der Durchfluss (Verkehrsstärke) auf einer Strecke kann nur steigen, wenn die Geschwindigkeiten der Fahrzeuge steigen und/oder die Dichte der Fahrzeuge steigt, indem die Fahrzeuge in kürzeren Abständen hintereinander her fahren.

Generell gilt: Wenn die Fahrzeugdichte auf einer Strecke zunimmt, sinken die gefahrenen Geschwindigkeiten. Dieser aus der Erfahrung bekannte Zusammenhang ist in Abbildung 4-3 anhand einiger Messwerte verdeutlicht. Der genaue Zusammenhang hängt jedoch von der Streckencharakteristik der einzelnen Straßen und vielen weiteren Einflussgrößen ab (Wetter, Fahrerkollektiv etc.).

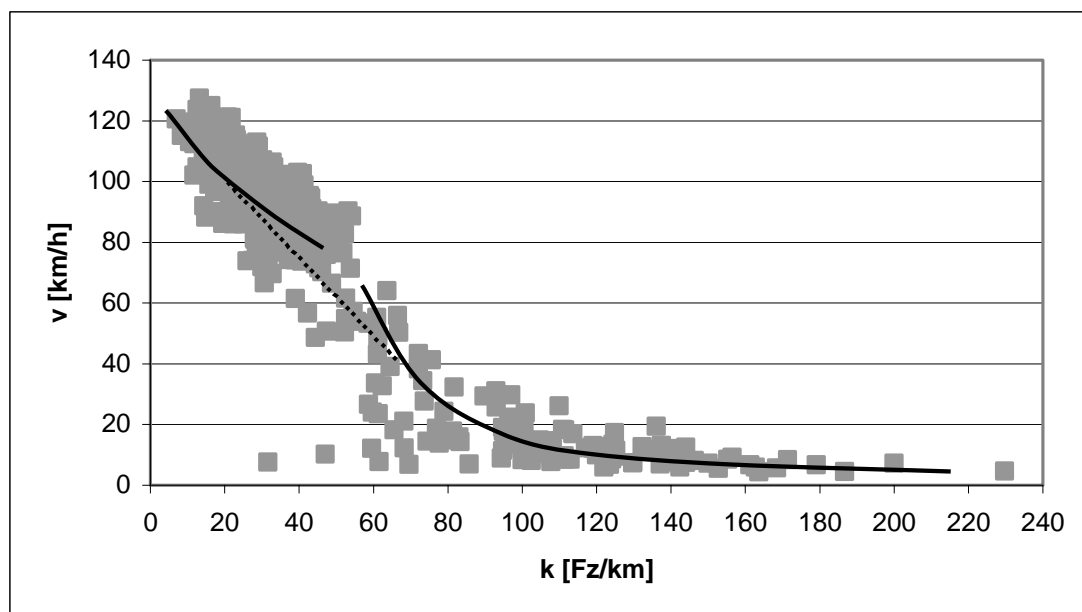


Abbildung 4-3: *Auf Autobahn gemessener Zusammenhang von Verkehrsdichte [Kfz/km] und Geschwindigkeit [km/h]*

Zur Veranschaulichung sei näherungsweise ein linearer Zusammenhang unterstellt [2.1]. Dabei ist zu beachten, dass dieser Zusammenhang theoretisch ist. In der Praxis stellt sich das Problem wesentlich komplexer dar.

$$V = a - b \cdot K \quad [2.1]$$

$$\text{bzw.: } K = \frac{(a - V)}{b} \quad [2.2]$$

Dabei sind a und b beliebige Faktoren im linearen Zusammenhang von V und K . In [1] eingesetzt, ergibt sich damit ein etwa parabolischer Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und -dichte:

$$Q = a \cdot K - b \cdot K^2 \quad [3.1]$$

bzw. zwischen Verkehrsstärke und Geschwindigkeit:

$$Q = \frac{a}{b} \cdot V - \frac{1}{b} \cdot V^2 \quad [3.2]$$

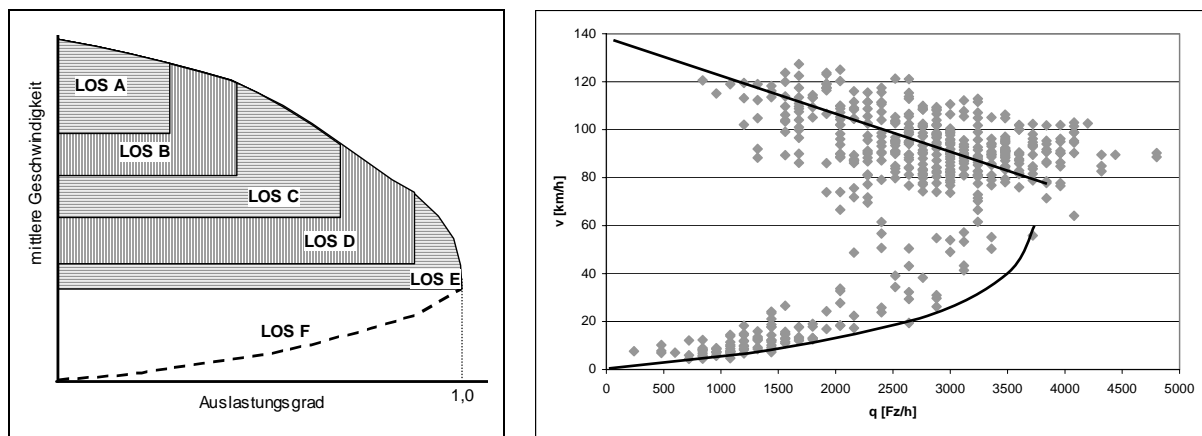


Abbildung 4-4: Gegenüberstellung des theoretischen Zusammenhangs von Geschwindigkeit und Verkehrsstärke (links: Qualitativer Zusammenhang zwischen Level-of-Service und mittlerer Geschwindigkeit sowie Auslastungsgrad, Highway Capacity Manual 1965) und real gemessenen Verkehrsströmen auf einer zweistreifigen Autobahn (rechts).

Stellt man Gleichung [3.2] in einem Diagramm dar, entsteht qualitativ der Zusammenhang in Abbildung 4-4 (um 90° gedreht). Dieser Zusammenhang wird als Fundamentaldiagramm bezeichnet. Hier ist die mittlere Geschwindigkeit über dem Auslastungsgrad aufgetragen. Auslastungsgrad ist das Verhältnis von Q (Fluss auf einer Strecke), zu Q_{\max} , dem maximal möglichen Fluss auf einer Strecke, also der Kapazität. Diese Kapazität hängt wiederum sehr von den Charakteristiken und aktuellen Gegebenheiten einer Strecke ab.

Im Bezug auf die Kapazität einer Fahrspur ist Folgendes wissenswert:

- Q_{\max} beträgt etwa 1600 - 2000 Kfz/h
- d.h. ca. alle 2 Sekunden (Bruttozeitlücke) kommt ein Fahrzeug (1800 Kfz/h)
- dieses Q_{\max} wird bei etwa 60-90 km/h erreicht.

Abbildung 4-4 zeigt links den parabolischen Zusammenhang von Q und v , der eher theoretisch ist. Die reale Situation ist wesentlich komplexer. Gründe hierfür sind uneinheitliche Fahrgeschwindigkeiten, unterschiedliche und nur schwer mathematisch erfassbare Reaktionen von Fahrern usw. In der Realität werden die Verkehrszustände als Punktwolken wie im rechten Teil der Abbildung gemessen.

Die Interpretation der verschiedenen Darstellungen ist jedoch gleich:

- Hohe Geschwindigkeiten sind nur bei geringer Auslastung möglich. Level of Service A – hier können Fahrer weitgehend unbeeinflusst vom übrigen Verkehr agieren.
- Mit zunehmendem Verkehr sinken die Geschwindigkeiten der einzelnen Fahrzeuge. Level of Service B – D) Da aber mehr Fahrzeuge zur gleichen Zeit die Strecke passieren, steigt die Gesamtleistung des Systems bis maximal Q_{\max} an. Diesen Zustand beschreibt das Level of Service E.
- Bei weiterer Zunahme der Fahrzeuge auf der Strecke steigt die Verkehrsdichte und die Geschwindigkeiten sinken so weit ab, dass auch die Verkehrsstärke Q wieder abnimmt. Es entstehen Staus wegen Überlastung und das System kollabiert.

Das bedeutet gleichzeitig, dass die Fahrzeiten auf einer Strecke in Abhängigkeit von der Belastung steigen. Sie steigen zunächst kaum und bei zunehmendem Verkehr dann immer stärker. Vereinfacht wird dies in CR-Funktionen dargestellt (Abbildung 4-5), in denen ab der sogenannten „praktischen Leistungsfähigkeit L_p “ die Fahrtzeit stark ansteigt.

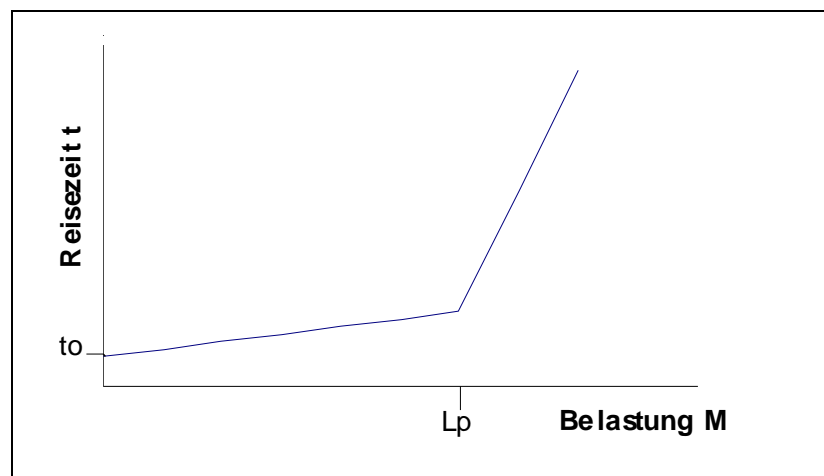


Abbildung 4-5: *Capacity-Restraint-Funktionen beschreiben die Fahrtzeit auf einer Strecke in Abhängigkeit von der Belastung.*



Diese für das Verkehrswesen grundlegenden Zusammenhänge von Geschwindigkeiten und Verkehrsstärke machen deutlich:

- Die Infrastruktur hat begrenzte Kapazitäten.
- Eine hohe Auslastung der Infrastruktur ($Q = Q_{\max}$) ist nur bei einem Systemzustand möglich, bei dem sich der einzelne Fahrer dem Fluss auf der Straße unterordnen muss. D.h. er darf nicht mehr mit seiner Wunschgeschwindigkeit fahren.