Bemessung ohne Bemessungsbelastung

M. Bernard

IVT
ETH
Zürich

März 2008

Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme
Institute for Transport Planning and Systems

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Ziele des Projekts

Entwicklung eines neuen Bemessungskonzepts, dass Variabilität der Nachfrage und Leistungsfähigkeit integriert.

Neue Definition / Beschreibung von:

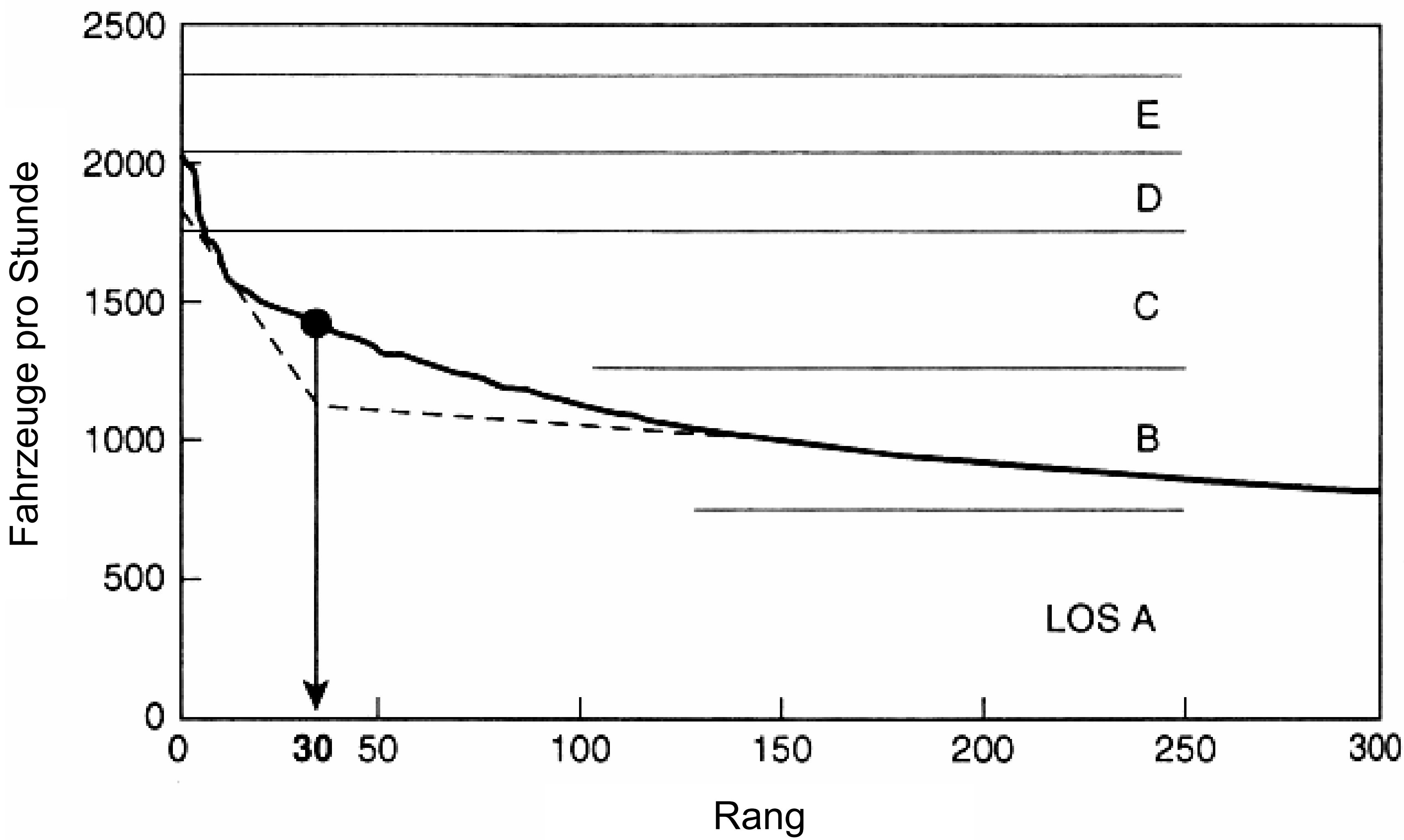
Kapazität

Nachfrage (Verkehrsstärke)

Berücksichtigung von Nutzerkosten

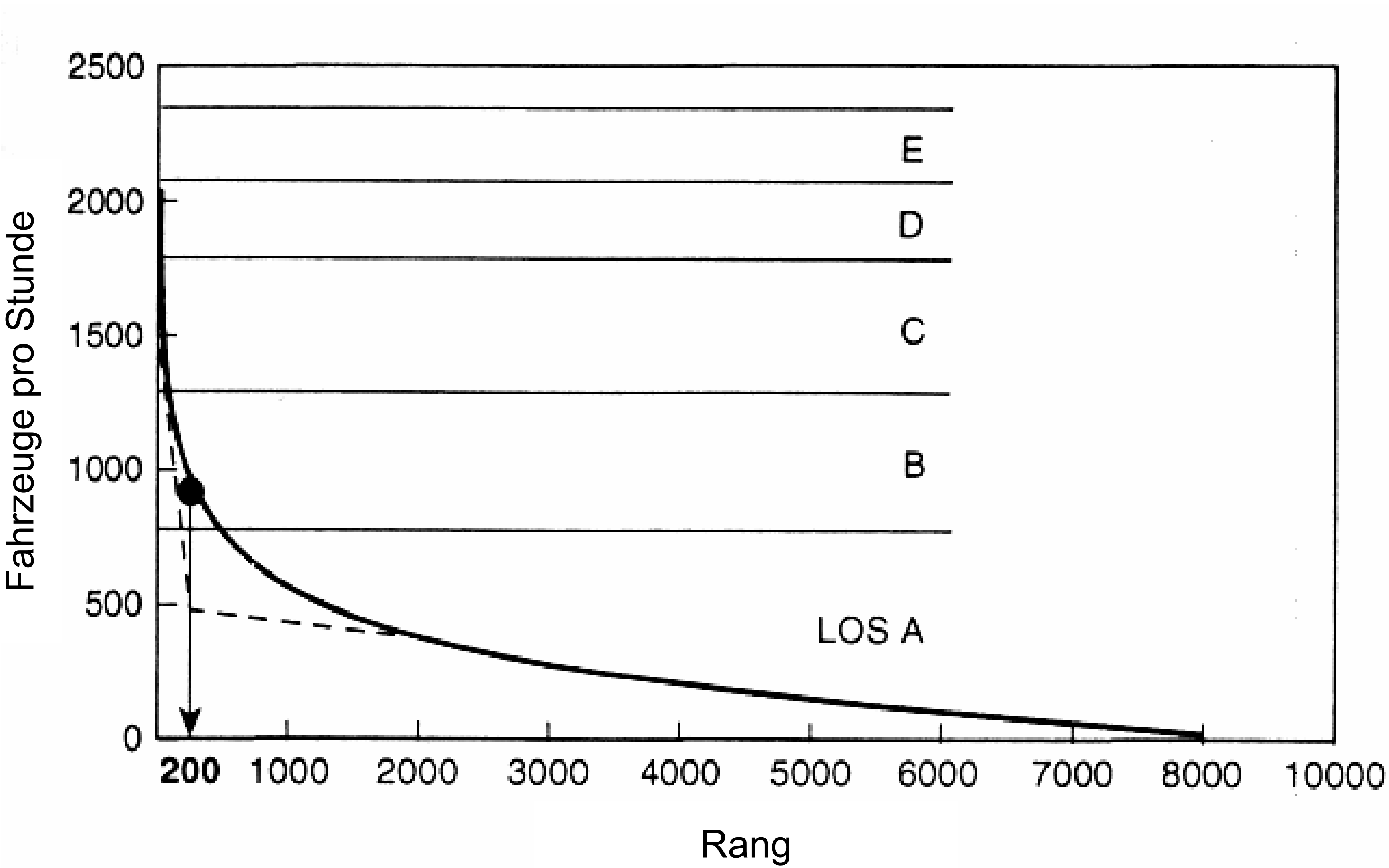
→ Neuformulierung der SN 640 016 „Massgebender Verkehr“

Bemessung nach 30. Stunde



Hempsey und Teply (1999)

Bemessung nach 200. Stunde?



Hempsey und Teply (1999)

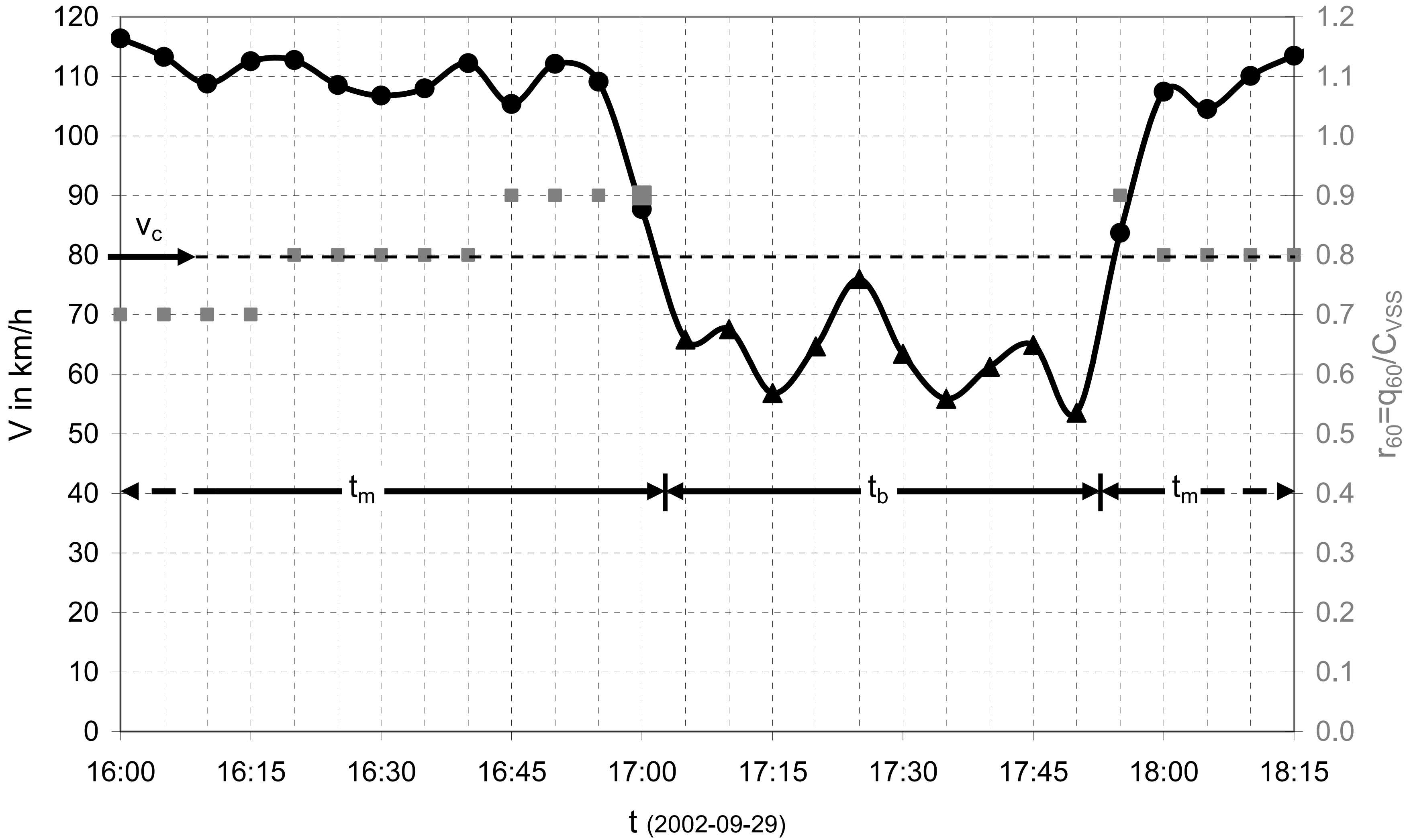
Probleme

- Wahl der Bemessungsverkehrsstärke bzw. -stunde (30. - 100.)
- Überlastungsvolumina werden nicht berücksichtigt
- Vergleich verschiedener Strecken nicht möglich
- Qualitäts-STUFEN (A bis F)
- keine Aussage, ob ein Ausbau sinnvoll / bezahlbar ist
- *evtl. für Zukunft*: ist ein Rückbau sinnvoll?

Neues Konzept

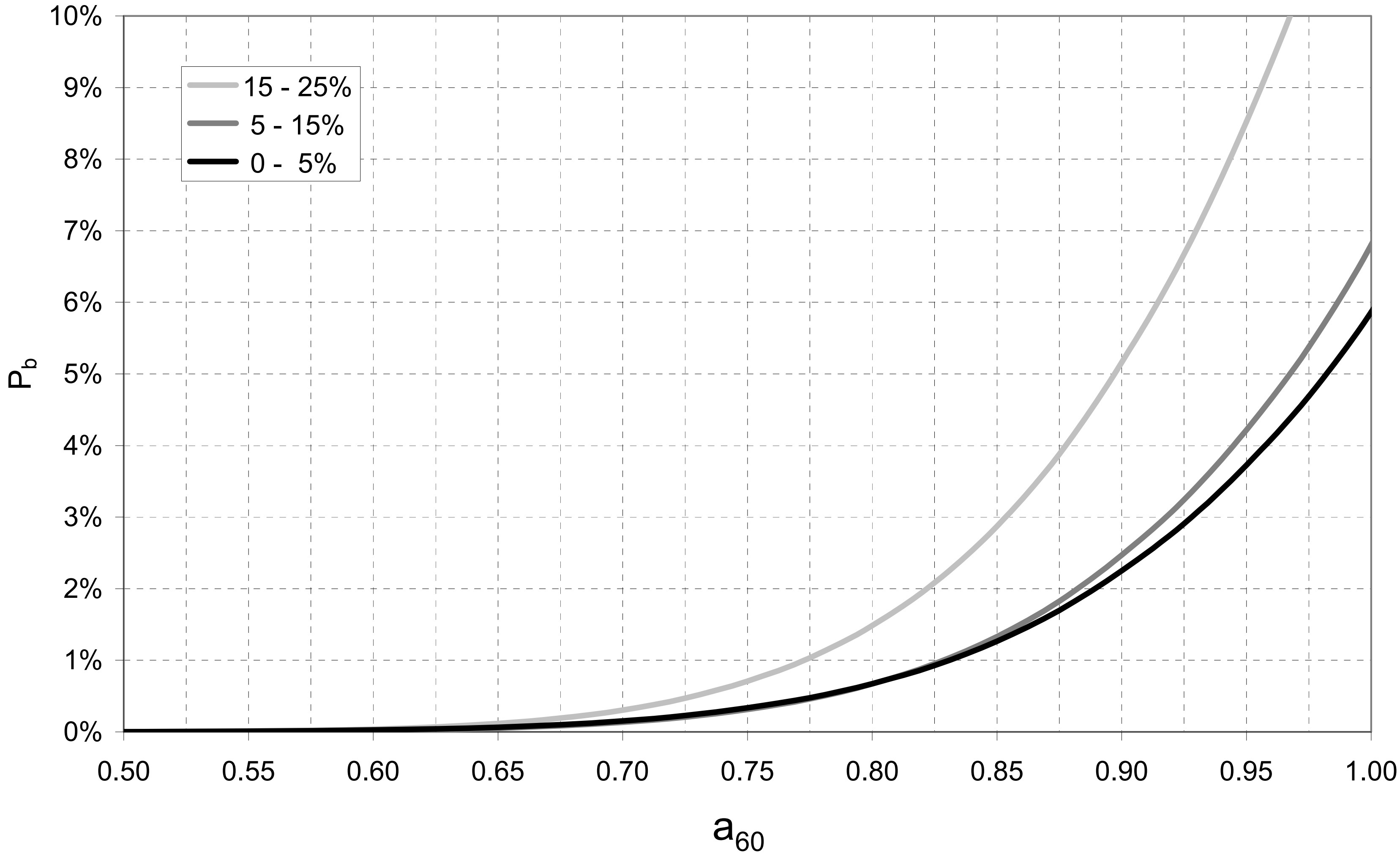
- Kapazität und Nachfrage werden als Zufallsvariablen betrachtet
- Überlastung tritt im Staufall bzw. bei stockendem Verkehr auf
- Ganzjahresanalyse
- Bewertung mit gewichteten Punkten, Einheit CHF

Überlastung (1) – Zusammenbruch



A1, Mattstetten, Richtung Zürich

Überlastung (2) – Zusammenbruchswahrscheinlichkeit



Bewertungsschema (1) – generalisierte Fahrzeitkosten

Gewichtete Reisezeiten ergeben generalisierte Fahrzeitkosten einer Person (K_p) für einen Abschnitt:

$$K_p = k_E \cdot t_E + \left(1 - P_b\right) \cdot k_{\text{früh}} \cdot t_{\text{früh}} + P_b \cdot k_{\text{spät}} \cdot t_{\text{spät}}$$

Bewertungsschema (2) – Einflussfaktoren

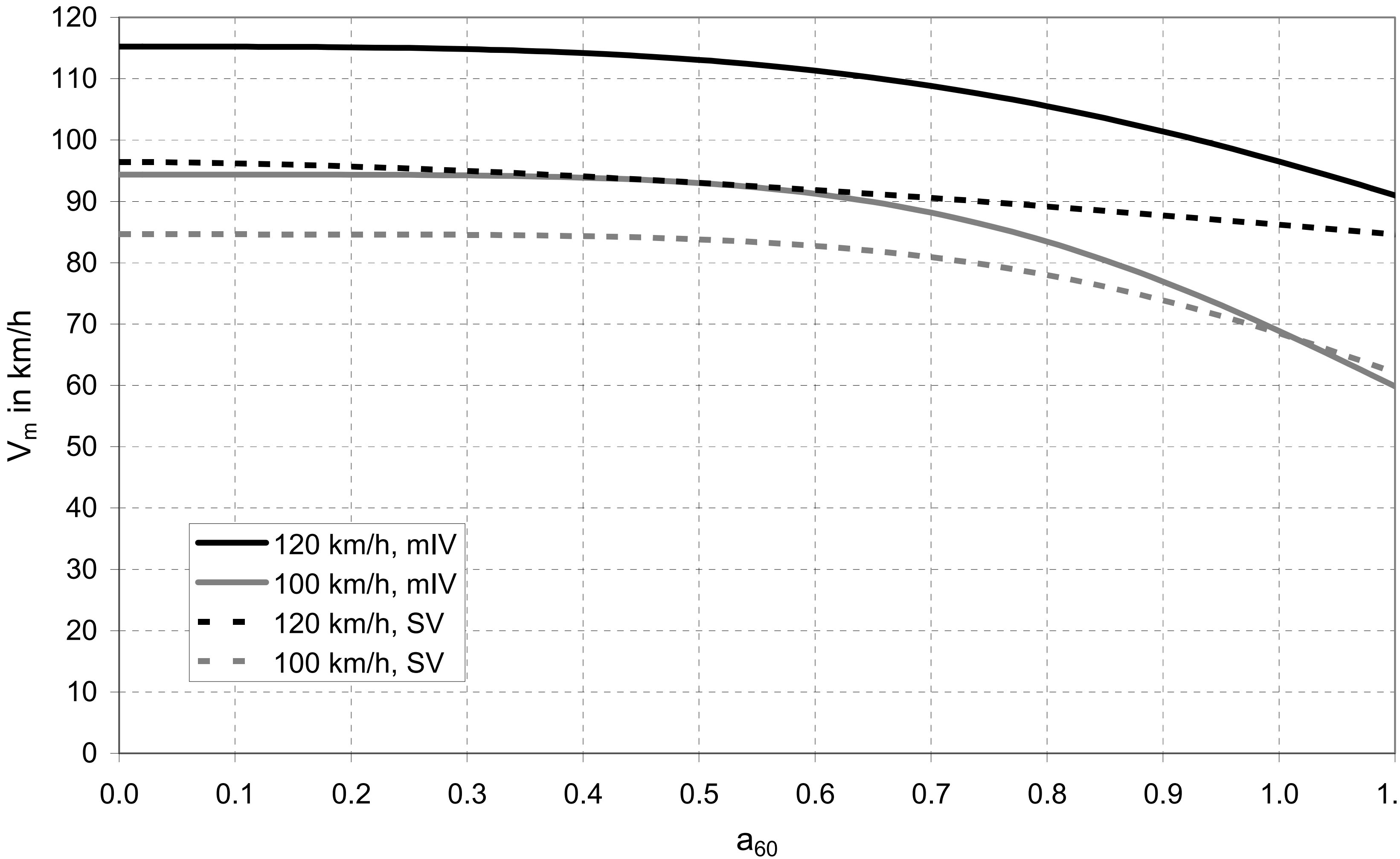
$$K_p = k_E \cdot t_E + (1-P_b) \cdot k_{früh} \cdot t_{früh} + P_b \cdot k_{spät} \cdot t_{spät}$$

$$\frac{K_{p,h}}{l} = k_E \cdot \frac{1}{E(v)} + \frac{\Delta t}{\Delta t + P_b t_b} k_{früh} \left(\frac{1}{v_p} - \frac{1}{v_m} \right) + \frac{P_b t_b}{\Delta t + P_b t_b} k_{spät} \left(\frac{1}{f_{mb} \cdot v_m} - \frac{1}{v_p} \right)$$

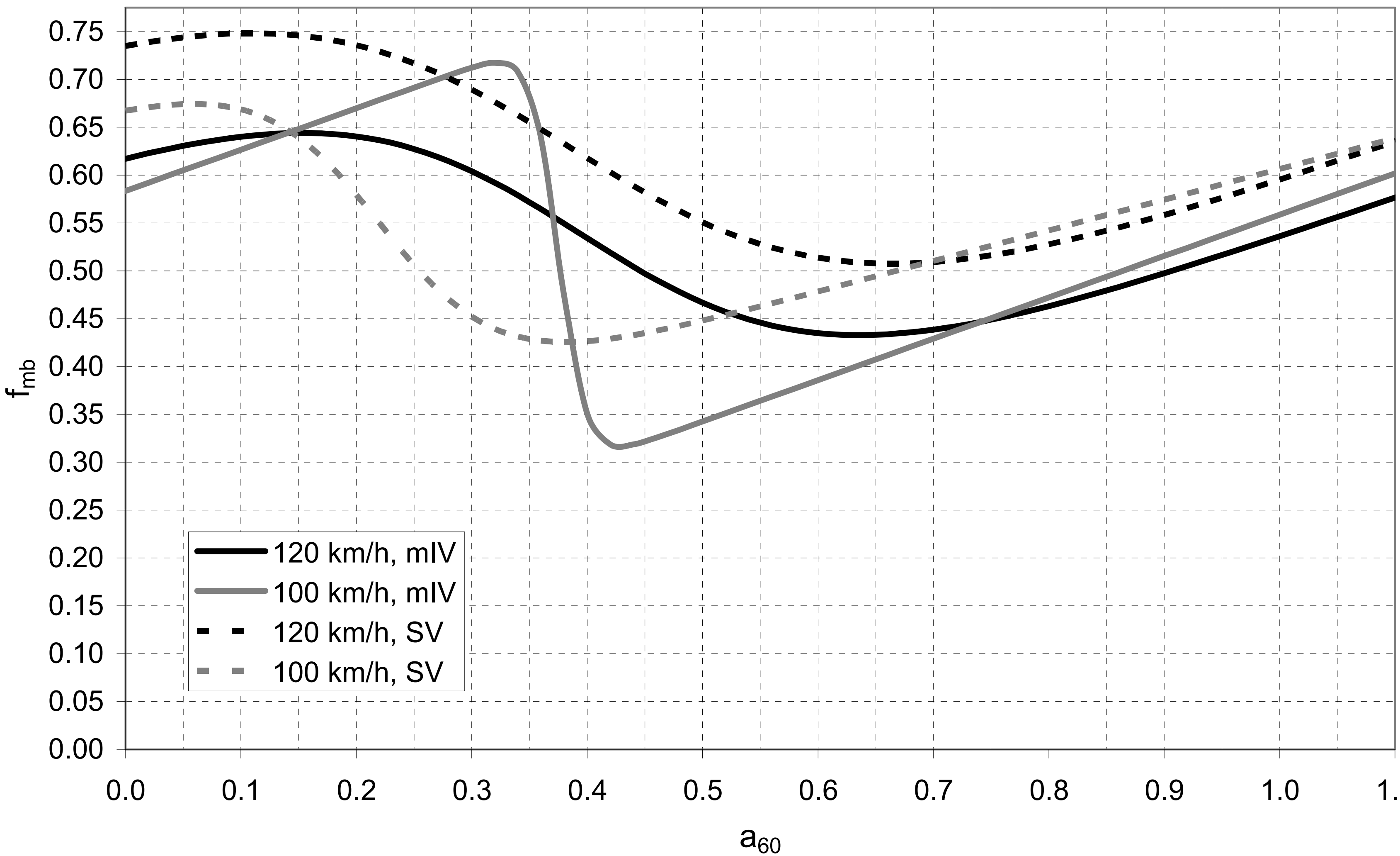
weitere Einflussfaktoren neben P_b und k:

v_m	mittlere Geschwindigkeit ohne Zusammenbrüche
f_{mb}	Faktor: Geschwindigkeitsreduktion bei einem Zusammenbruch
t_b	Dauer des Zusammenbruchs
E(v)	Erwartungs-/Mittelwert der Fahrgeschwindigkeit
v_p	eingeplante Geschwindigkeit

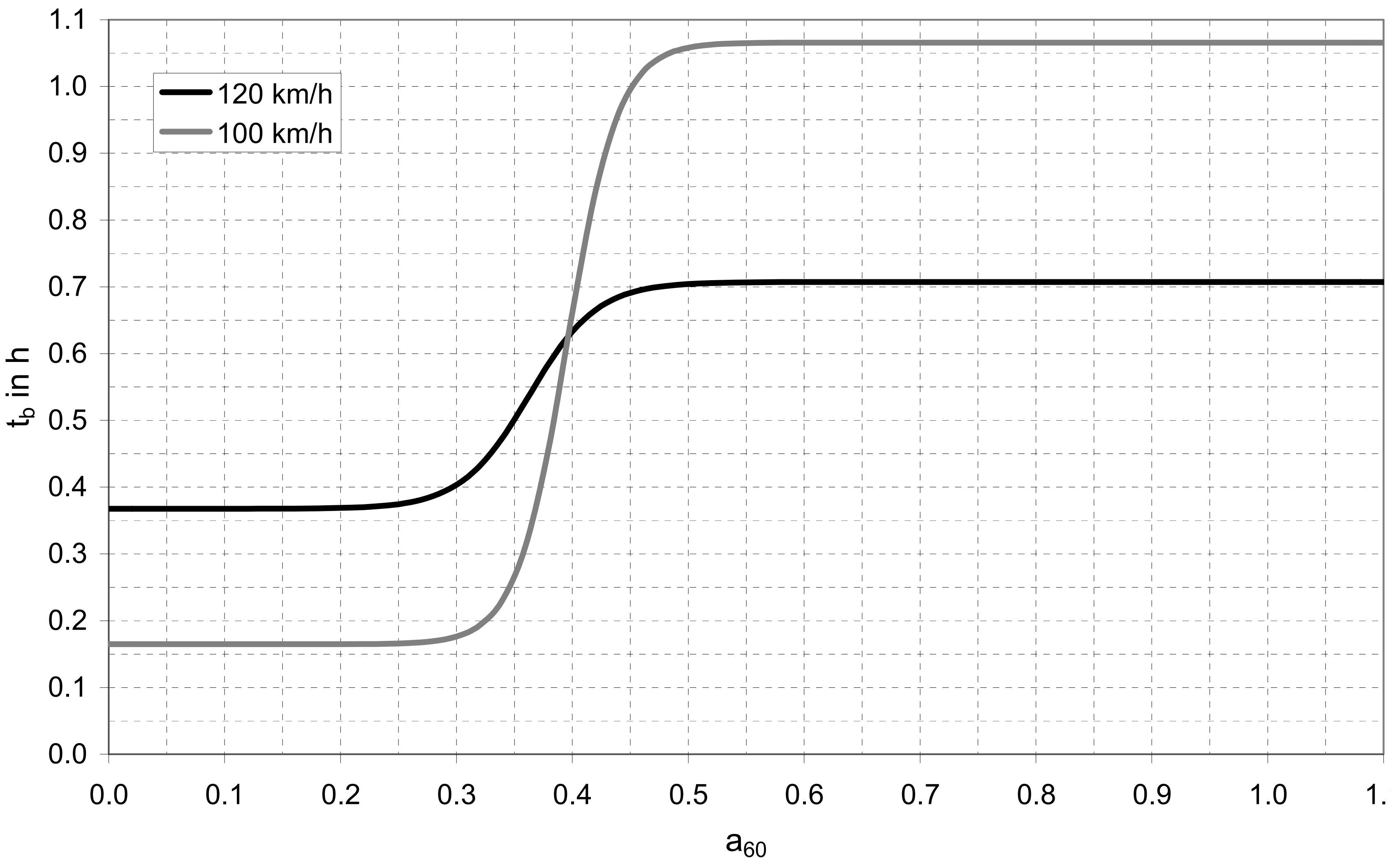
v_m – Geschwindigkeit ohne Zusammenbruch



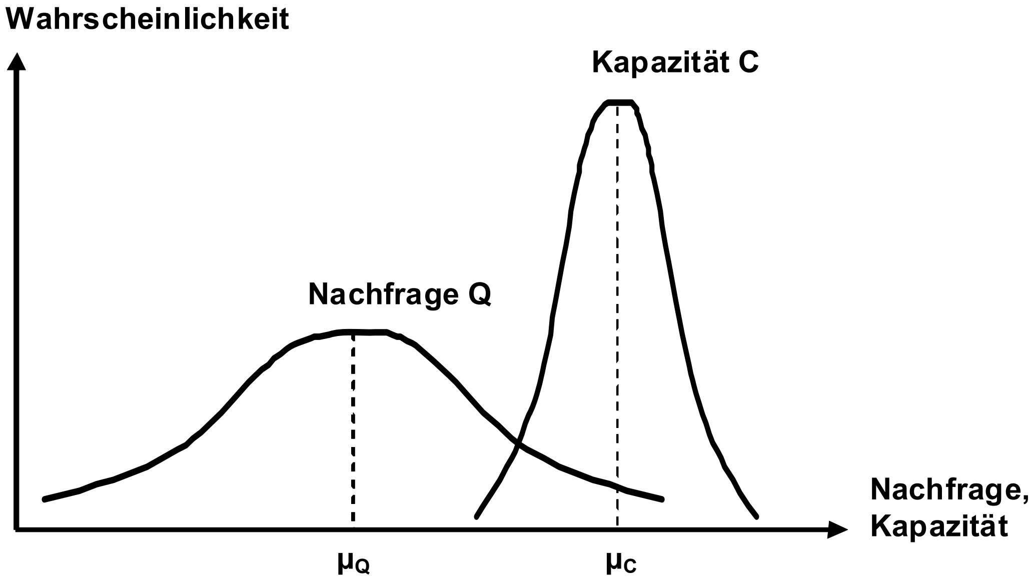
f_{mb} – Geschwindigkeitabfall bei Zusammenbruch



t_b – Zusammenbruchsdauer



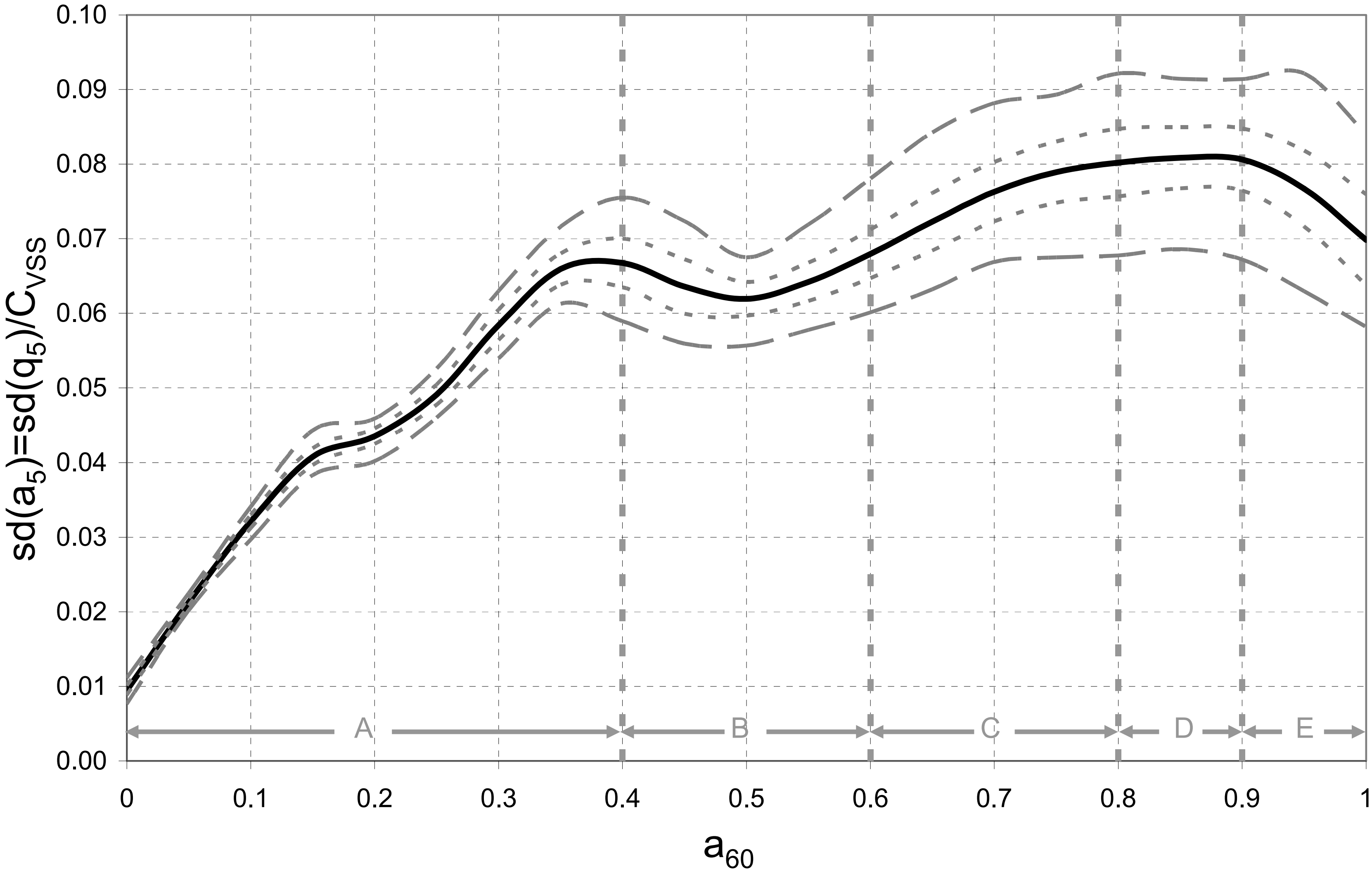
Probabilistisches Bemessungskonzept (1) – P_b



$$P_b = P(C \leq Q)$$
$$= P(C - Q \leq 0)$$
$$= \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} f_C(x) f_Q(x) dx^2$$

Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion

Probabilistisches Bemessungskonzept (2) – $f_Q(x)$



Probabilistisches Bemessungskonzept (3) – $f_C(x)$

Schwer-verkehrs-anteil	μ_C median $E(C)/C_{VSS}$ * Median des Erwartungswert der Kapazität	σ_C median $sd(C)/C_{VSS}$ * Median der Standardabweichung der Kapazität
0-5 %	**1.3305**	**0.1991**
5-15 %	**1.2885**	**0.1805**
15-25 %	**1.2004**	**0.1658**

* C_{VSS}: Kapazität laut SN 640 018a bei 0% SV-Anteil

Anwendungsbeispiel: A1 (Mattstetten, Richtung Zürich)

$$\frac{K_{tot,a}}{l} = \sum_{h=1}^{8760} Q_{60,h} \left(\left(1 - SVA_h\right) BG_h \frac{K_{p,h}^{mIV}}{l} + SVA_h \frac{K_{p,h}^{SV}}{l} \right)$$

Bewertung

Ausgangslage:
a) generalisierte Reisezeitkosten $\quad K_{\mathbf{tot,a}}/l$ = 4.224 Mio CHF/km

Alternative: Mitbenutzung des Seitenstreifens im Staufall, so dass sich die Staudauern um 30% reduzieren (*Annahme!*)
b) generalisierte Reisezeitkosten $\quad K_{\mathbf{tot,a}}/l$ = 4.195 Mio CHF/km

Bezogen auf Streckenabschnitt von 15 km
für eine Richtung 427‘500 CHF/Jahr

End of slide show, <Esc> to exit.

Herleitung (1)

Wahrscheinlichkeit P_f, dass momentaner Verkehrsfluss q grösser als die Kapazität C ist mit Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion f_C

$$P_f = P(C \leq q) = F_C(q) = \int_{-\infty}^{q} f_C(x)dx$$

Verkehrsfluss Q als Zufallsvariable mit Verteilung f_Q

$$P_f = P(C \leq Q) = P(C - Q \leq 0) = \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} f_C(x) f_Q(x) dx^2$$

Unter der Vorraussetzung, dass C und Q normalverteilt sind:

$C \sim N(\mu_C, \sigma_C)$ und $Q \sim N(\mu_Q, \sigma_Q)$

$M := C - Q$

$P_f = P(M \leq 0)$ mit $M \sim N(\mu_M, \sigma_M)$

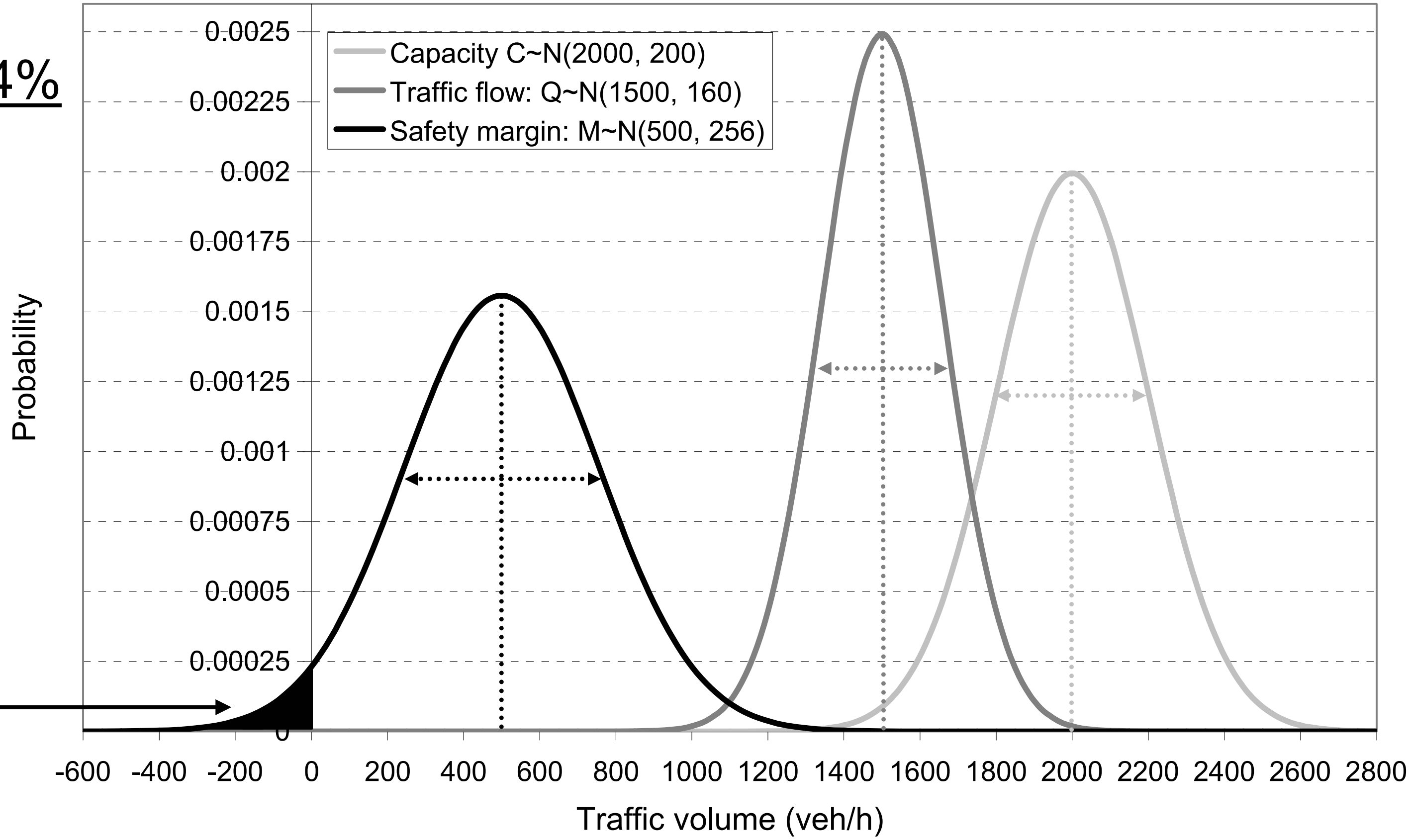
$\mu_M = \mu_C - \mu_Q$ und $\sigma_M = \sqrt{\sigma_C^2 + \sigma_Q^2}$

Herleitung (2): Beispiel

Verkehrsszenario:

Kapazität: $C \sim N(2000, 200)$
Nachfrage: $Q \sim N(1500, 160)$ während einer Stunde
=> $M \sim N(500, 256.13)$

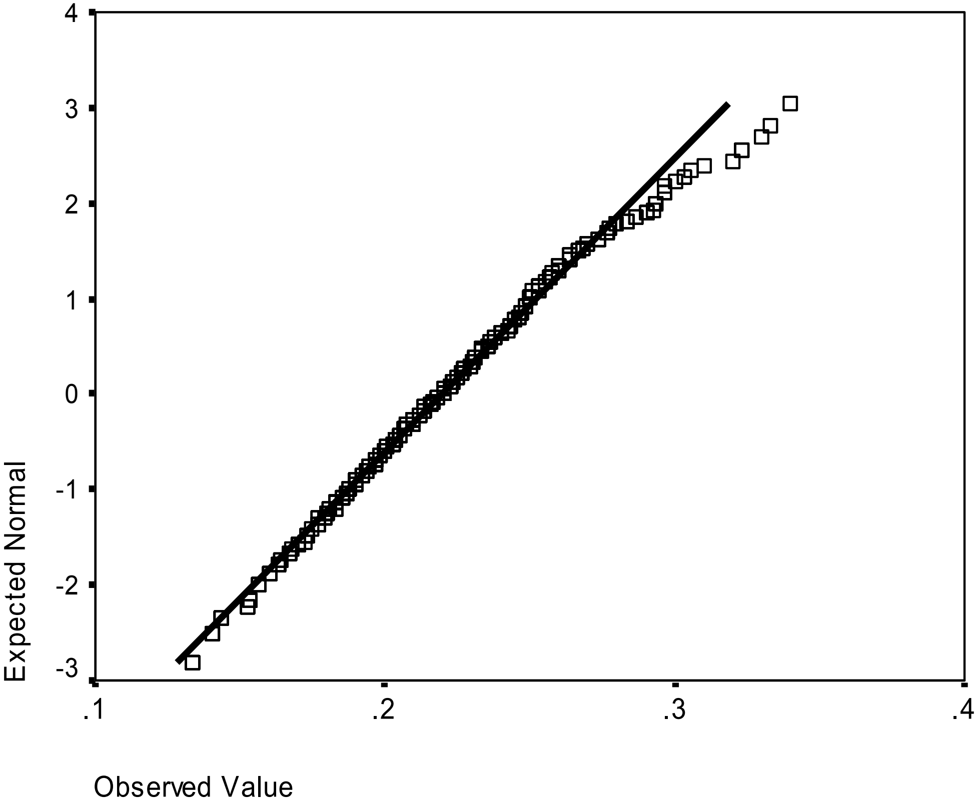
→P_f = <u>2.54%</u>

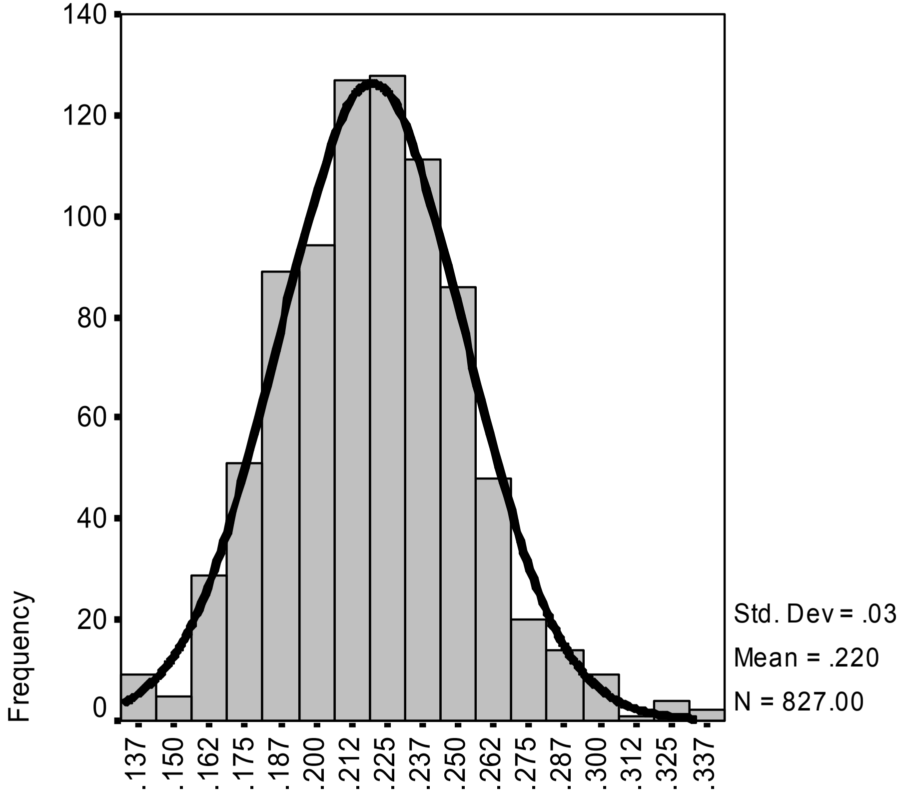


Normalverteilung von q_5 um Q_{60}

Normalverteilter Verkehrsfluss

5-Minuten-Intervalle innerhalb ihrer 60-Minuten-Mittel





Bewertungsschema (2) – Einflussfaktoren

Bezug auf Strecke der Länge l während einer Stunde:

$$K_p = k_E \cdot t_E + (1-P_b) \cdot k_{früh} \cdot t_{früh} + P_b \cdot k_{spät} \cdot t_{spät}$$

$$\frac{K_{p,h}}{l} = k_E \cdot \frac{1}{E(v)} + \frac{\Delta t}{\Delta t + P_b t_b} k_{früh} \left(\frac{1}{v_p} - \frac{1}{v_m} \right) + \frac{P_b t_b}{\Delta t + P_b t_b} k_{spät} \left(\frac{1}{f_{mb} \cdot v_m} - \frac{1}{v_p} \right)$$

weitere Einflussfaktoren neben P_b und k:

v_m mittlere Geschwindigkeit ohne Zusammenbrüche

f_{mb} Faktor: Geschwindigkeitsreduktion bei einem Zusammenbruch

t_b Dauer des Zusammenbruchs

E(v) Erwartungs-/Mittelwert der Fahrgeschwindigkeit

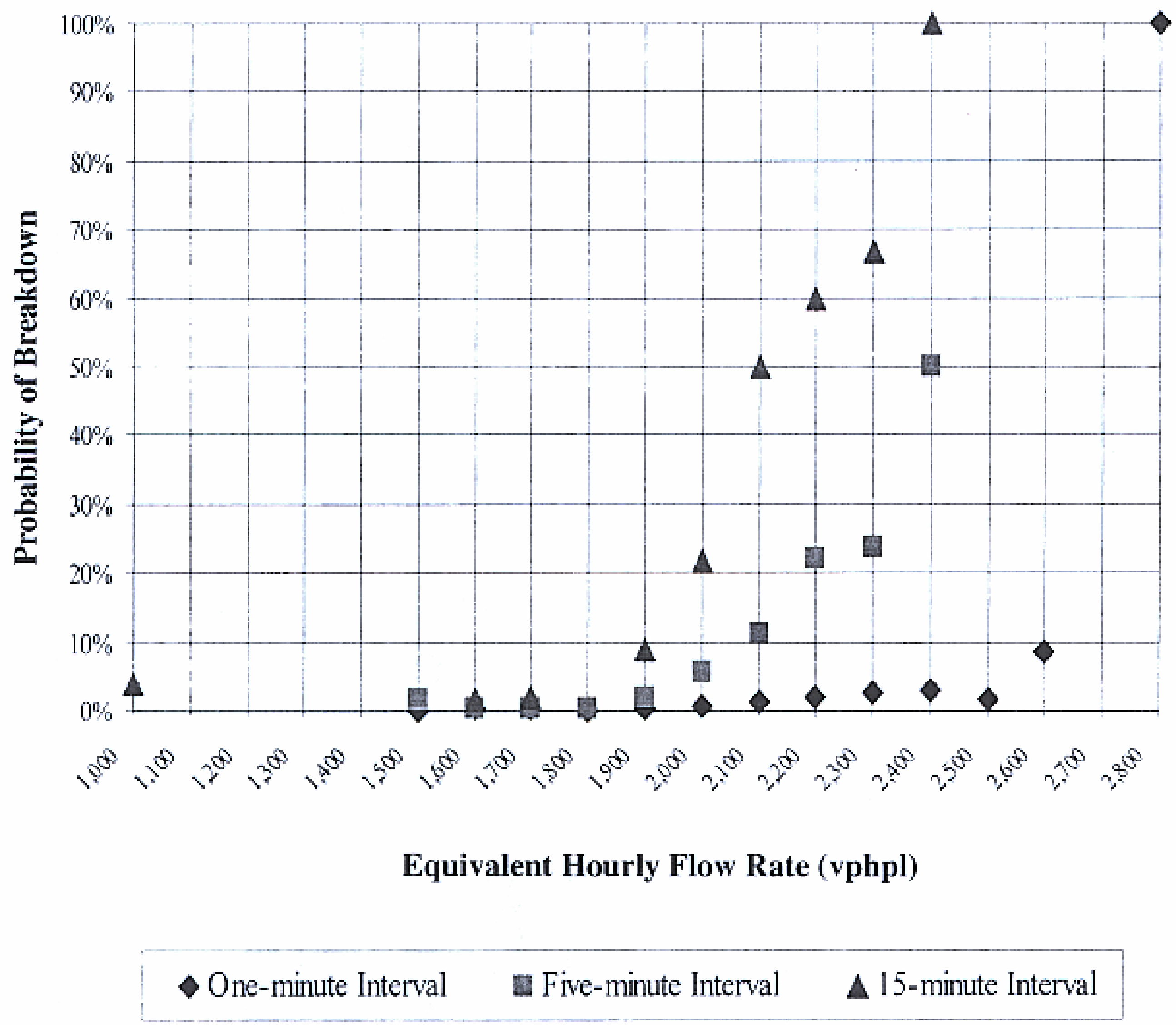
$$E(v) = \left(\frac{\Delta t + P_b t_b f_{mb}}{\Delta t + P_b t_b} \right) \cdot v_m$$

v_p eingeplante Geschwindigkeit

$$v_p = \left(\frac{k_{früh} + k_{spät} \cdot P_b \, {}^{t_b}\!/_{\Delta t} \, f_{mb}}{k_{früh} + k_{spät} \cdot P_b \, {}^{t_b}\!/_{\Delta t}} \right) \cdot v_m$$

(Δt Messintervall, hier 5 Minuten)

Einfluss der Messintervalllänge



Source: Matt and Elefteriadou (2001)

Literatur

Hempsey, L. J. und S. Teply (1999) Redesigning the design hour for Alberta highways, *ITE Journal*, **69** (5) 43-48.

Matt, R. L. and L. Elefteriadou (2001) Defining freeway capacity as function of breakdown probability, *Transportation Research Record*, **1776**, 43-51.