Universität Stuttgart

INSTITUT FÜR
NACHRICHTENVERMITTLUNG
UND DATENVERARBEITUNG
Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. P. J. Kühn

ITG-Workshop „IP Netzplanung, IP Netzmanagement und Optimierung“
Würzburg, 20./21. Juli 2000

Effektive Bandbreite selbstähnlicher Verkehrsströme

Stefan Bodamer

Gliederung

- ❑ Motivation
- ❑ Verkehrsmodell
- ❑ Approximationen für effektive Bandbreite
- ❑ Vergleichende Untersuchungen

Motivation

- **effektive Bandbreite: Maß für Ressourcenbedarf eines Verkehrsstroms**
  - Verbindungsannahmesteuerung (CAC)
  - Entgelterhebung (Charging)
  - Netzdimensionierung
- **Dimensionierung von IP-Netzen**
  - Ziel: Ausnutzung des statistischen Multiplexgewinns
  - grundsätzliches Problem: Adaptivität durch TCP-Flusskontrolle
    - ➥ Betrachtung eines Links, der kein Engpass für TCP-Verbindungen darstellt (z. B. im Zugangsnetz)
  - Erfahrungen bei IP-Verkehr: Selbstähnlichkeit
- **verschiedene Methoden zur Approximation der effektiven Bandbreite**
  - „klassische“ Methoden
  - Methoden für selbstähnlichen Verkehr

➥ **Vergleich der Methoden auf Basis eines einheitlichen Verkehrsmodells**

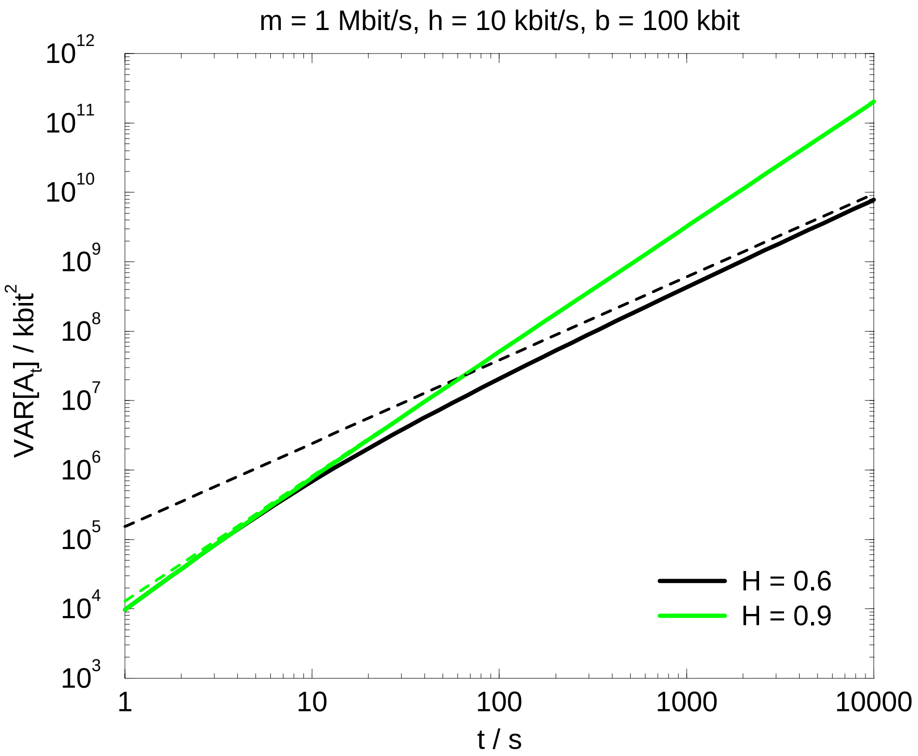
Verkehrsmodell

- **M/G/∞-Burst-Modell**
  - Flüssigkeitsmodell: Paketebene nicht sichtbar
  - Poisson-Ankunft von Bursts (Informationsmenge) mit Rate λ
  - konstante Ankunftsrate h innerhalb eines Bursts
  - Burstgröße B mit Mittelwert b
  - mittlere Rate $m = \lambda \cdot b$
- **M/M-Modell**
  - Burstgröße B negativ-exponentiell verteilt
- **M/Pareto-Modell**
  - Burstgröße B Pareto-verteilt: $\mathrm{P}(B \le s) = 1 - \left(\frac{k}{s}\right)^{\alpha} = 1 - \left(\frac{\alpha - 1}{\alpha} \cdot \frac{b}{s}\right)^{\alpha}, \ s \ge k$
  - falls $1 < \alpha \le 2$: endlicher Mittelwert, unendliche Varianz von B
  - selbstähnlicher Verkehr mit Hurst-Parameter $H = \frac{3 - \alpha}{2}$
  - Selbstähnlichkeit erkennbar an Varianz des kumulierten Ankunftsprozesses A_t (ankommende Informationsmenge in Intervall der Länge t)

Varianz des kumulierten Ankunftsprozesses

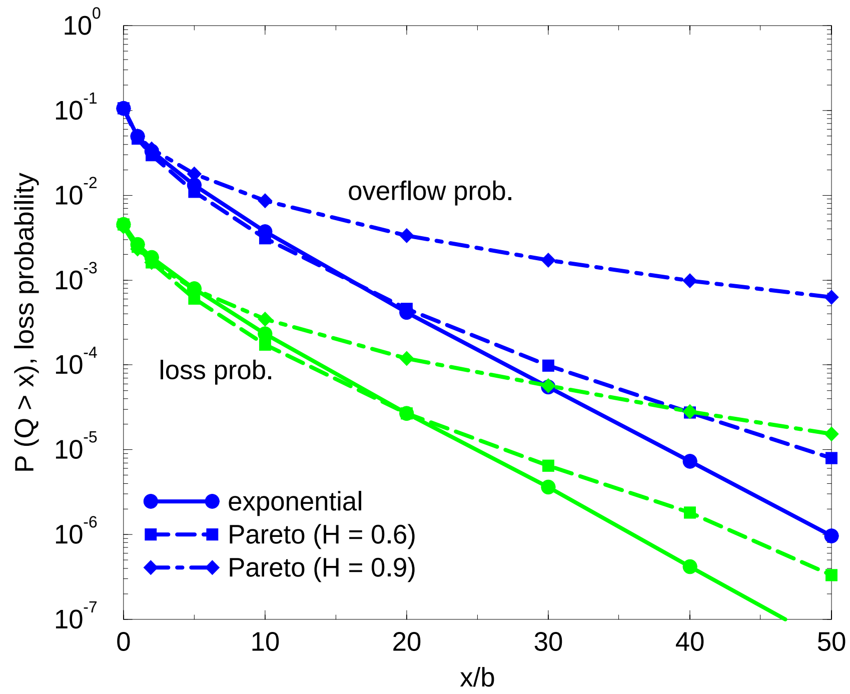
- **M/M:** $\mathrm{VAR}[A_t] \to 2 \cdot m \cdot b \cdot \boldsymbol{t}$ für $t \to \infty$

- **M/Pareto:** $\mathrm{VAR}[A_t] \to m \cdot \dfrac{h^{2H-1} \cdot \left(\dfrac{2-2H}{3-2H} \cdot b\right)^{2-2H}}{(3-2H) \cdot (2H-1) \cdot H} \cdot \boldsymbol{t^{2H}}$ für $t \to \infty$



Effektive Bandbreite

- **Bezug auf Bediensystem mit**
  - FIFO-Abfertigung
  - (variabler) Bedienrate *C*
  - unendlichem Puffer
  - M/Pareto- oder M/M-Ankunft



- **QoS-Anforderung: Überschreitungswahrscheinlichkeit für Warteschlangenlänge *Q***

➥ **effektive Bandbreite =**
minimale Bedienrate, bei der $\mathbf{P}(Q > x) \leq \varepsilon$

REM-Approximation

- **Rate Envelope Multiplexing (REM)**
  - Prinzip: Vergleich der momentanen Ankunftsrate R mit Bedienrate C
  - keine Berücksichtigung des Puffers auf Burstebene: „pufferloses“ Modell
  - ➥ unabhängig von Burstgröße
- **Abschätzung der Überschreitungswahrscheinlichkeit $\mathrm{P}(R > C)$**
  - einfacher Ansatz: Approximation der Ratenverteilung durch Normalverteilung
  - weitere Vereinfachung nach Guérin liefert $\mathrm{P}(R > C) \approx \mathrm{P}(Q > 0)$
  - konservative Abschätzung für $\mathrm{P}(Q > x)$

➥ $C = m \cdot \left(1 + \sqrt{-2\ln\varepsilon - \ln(2\pi)} \cdot \sqrt{\frac{h}{m}}\right)$

Fluid-Flow-Approximation

- **Grundlage: AMS (Anick, Mitra, Sondhi)**
  - Überlagerung von N ON/OFF-Quellen mit exponentiellen Phasendauern
  - Verteilung der Warteschlangenlänge Q durch Lösung eines Differentialgleichungssystems (Eigenwert- und Randwertproblem)
  - Approximation: nur Berücksichtigung des dominanten Eigenwerts
- **Bestimmung der effektiven Bandbreite: Guérin et al.**
  - vereinfachende Annahme: $\mathrm{P}(Q > 0) \approx 1 \Rightarrow \mathrm{P}(Q > x) \approx \mathrm{P}(Q > x \mid Q > 0)$
- **Anpassung für M/Pareto-Modell**
  - Anpassung auf M/M-Modell durch Grenzübergang $N \to \infty$
  - Anwendung auf M/Pareto-Modell mit gleicher mittlerer Burstgröße b

$$\Rightarrow \quad C = \frac{m}{1 + \frac{b}{x} \cdot \ln \varepsilon}$$

FBM-Approximation: „Norros-Formel“

❑ Fractional Brownian Motion (FBM)

- ❍ kumulierter Ankunftsprozess mit Varianz $\mathrm{VAR}[A_t] = m \cdot a \cdot t^{2H}$
- ❍ Varianzkoeffizient a („Spitzigkeit“)

❑ Norros: Analyse eines Bediensystems mit FBM-Verkehr

- ❍ vereinfachende Annahme: $\mathrm{P}(Q > 0) \approx 1 \Rightarrow \mathrm{P}(Q > x) \approx \mathrm{P}(Q > x | Q > 0)$
- ❍ Warteschlangenlänge Q folgt näherungsweise einer Weibull-Verteilung
- ❍ effektive Bandbreite in Abhängigkeit von Varianzkoeffizient a

❑ Anpassung für M/Pareto- sowie M/M-Verkehr

- ❍ Bestimmung des Varianzkoeffizienten durch Gleichsetzen von $\mathrm{VAR}[A_t]$ für FBM und M/Pareto bzw. M/M für $t \to \infty$

➥ $C = m \cdot \left(1 + \chi(H) \cdot (-2\ln\varepsilon)^{\frac{1}{2H}} \cdot \left(\frac{x}{b}\right)^{\frac{H-1}{H}} \cdot \left(\frac{h}{m}\right)^{\frac{2H-1}{2H}}\right)$ **für M/Pareto**

➥ $C = m \cdot \left(1 - \ln\varepsilon \cdot \frac{b}{x}\right)$ **für M/M**

Kombinierte Methode

- ❑ **Kombination von REM- und FBM-Approximation**
- ❑ **Berücksichtigung von statistischem Multiplexen und Pufferung**

$$
\begin{aligned}
P(Q > x) &= P(Q > 0) \cdot P(Q > x \mid Q > 0) \\
&\approx \varepsilon_{REM} \cdot \varepsilon_{FBM}
\end{aligned}
$$

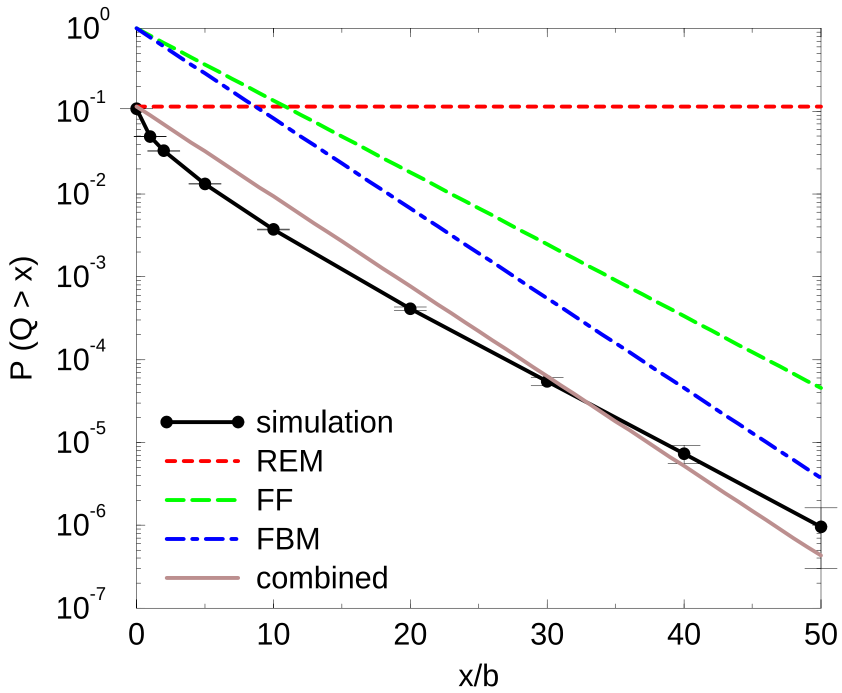
➥ **Bestimmungsgleichung für effektive Bandbreite**

$$K_1 \cdot (C - m)^2 + K_2 \cdot (C - m)^{2H} + K_3 = 0$$

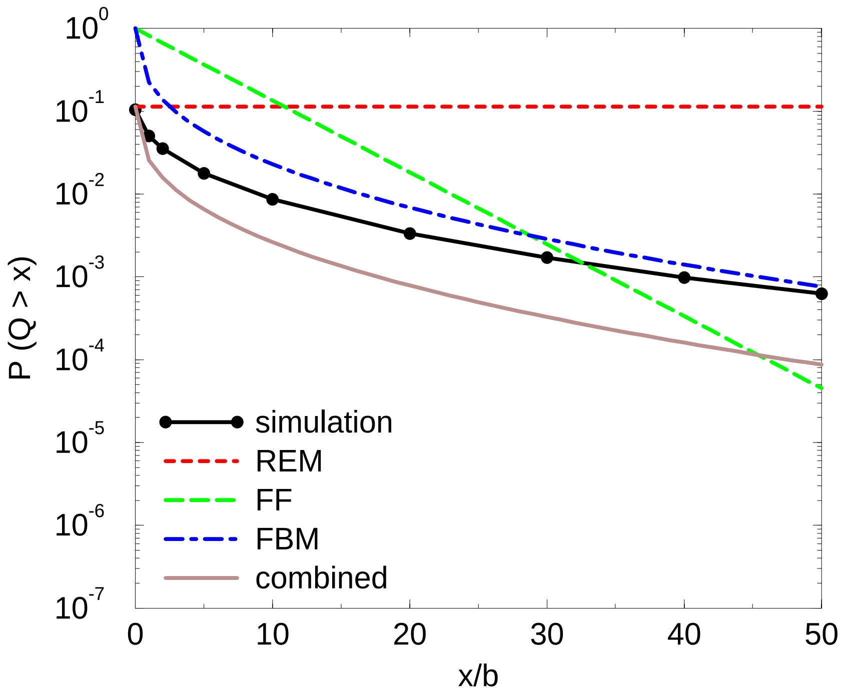
- ❑ **einfach numerisch lösbar (z. B. mit Newton-Verfahren)**

Warteschlangenlänge

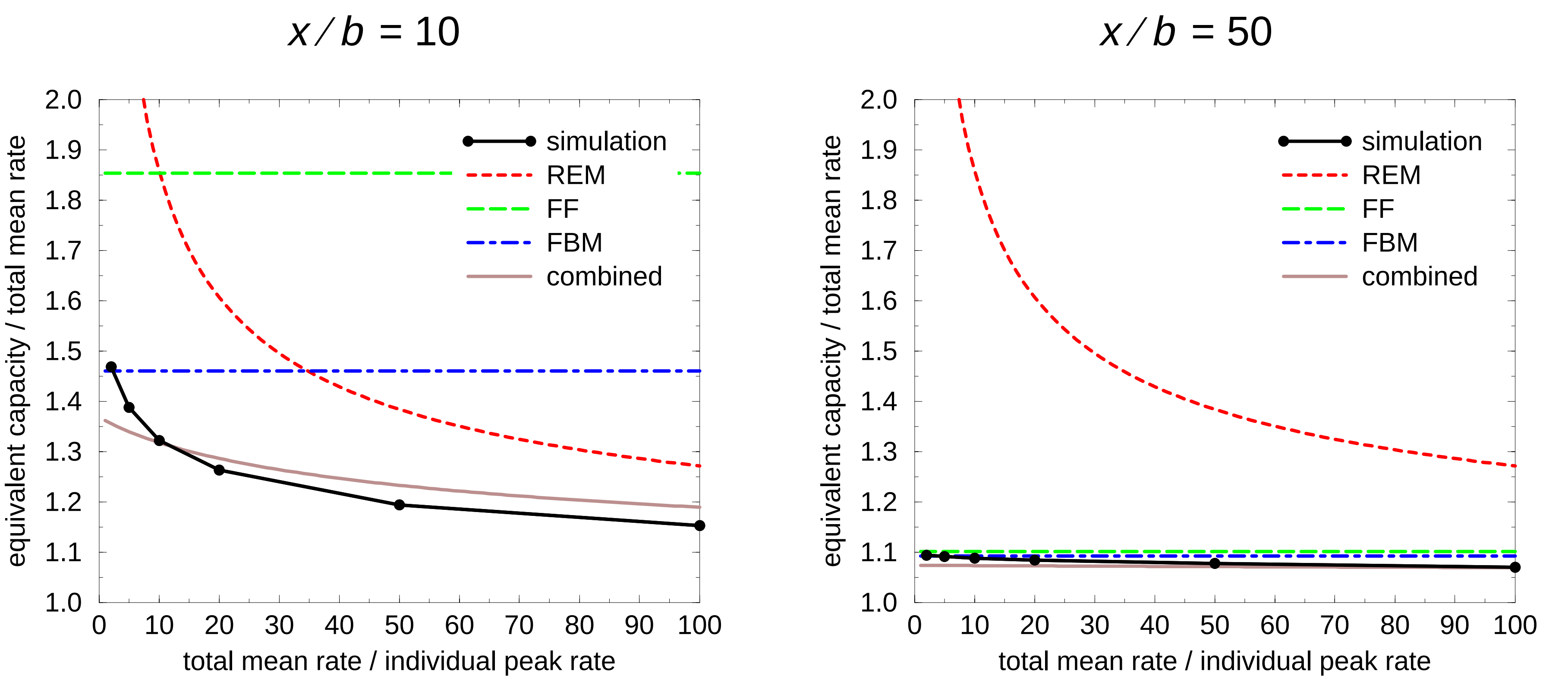
M/M



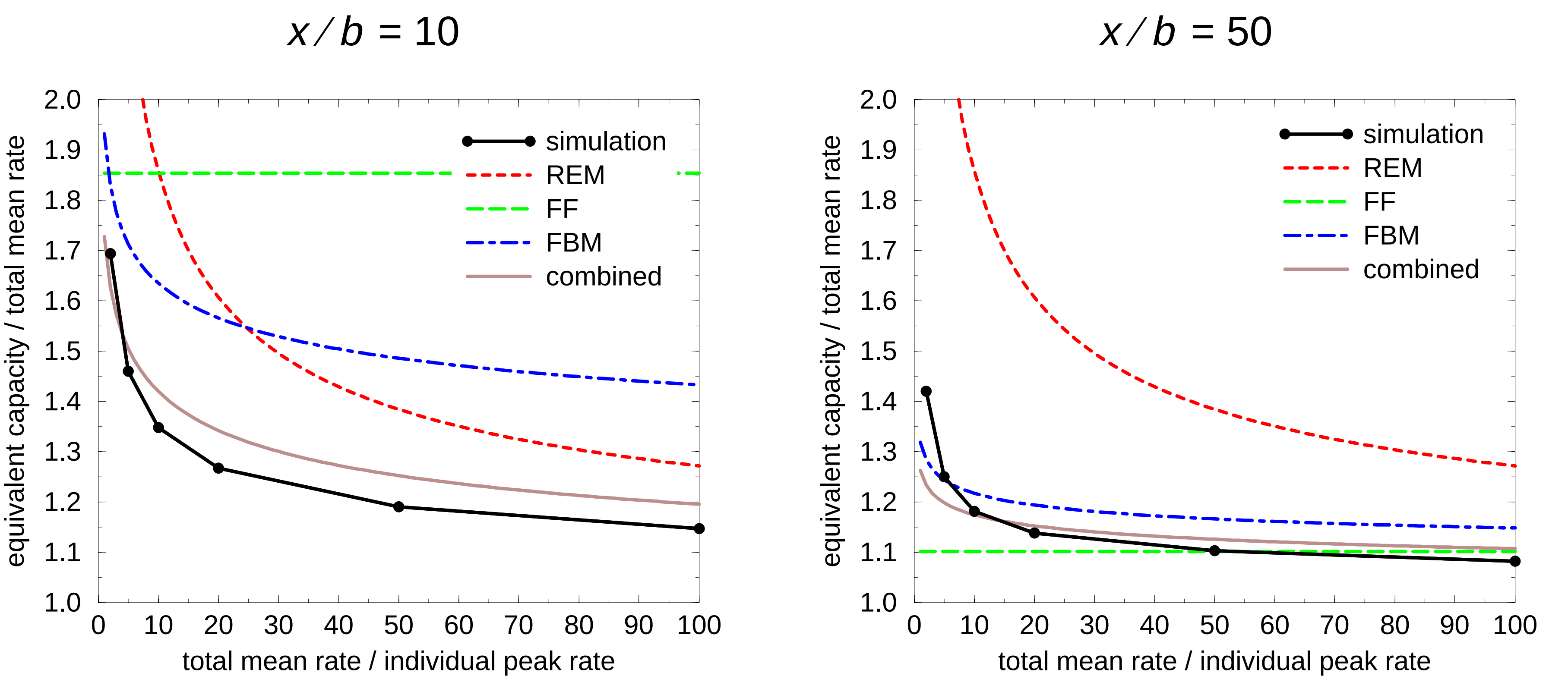
M/Pareto (*H* = 0.8)



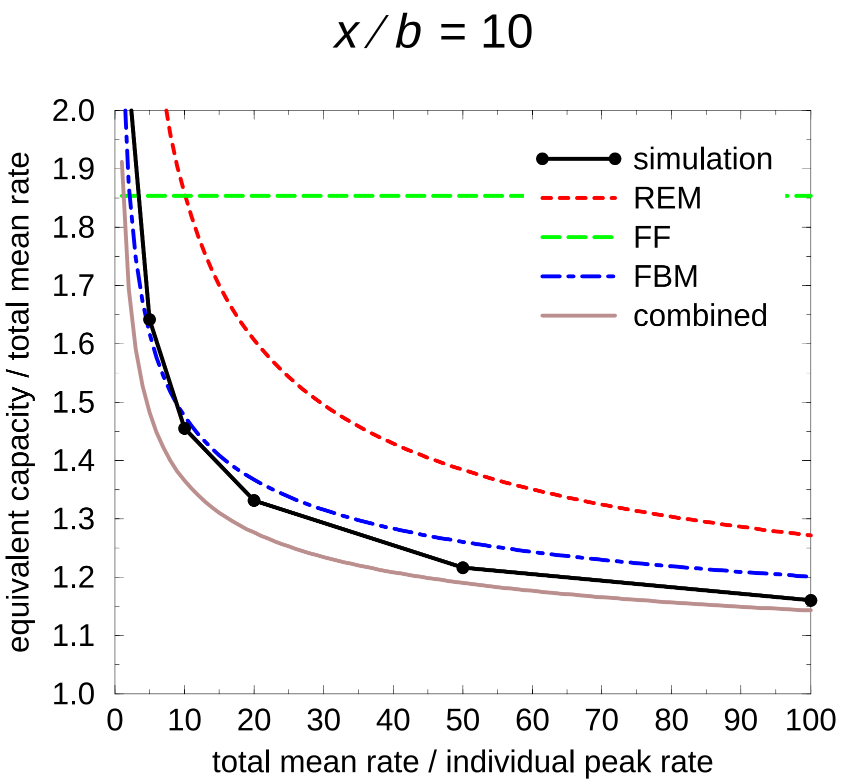
Effektive Bandbreite: M/M

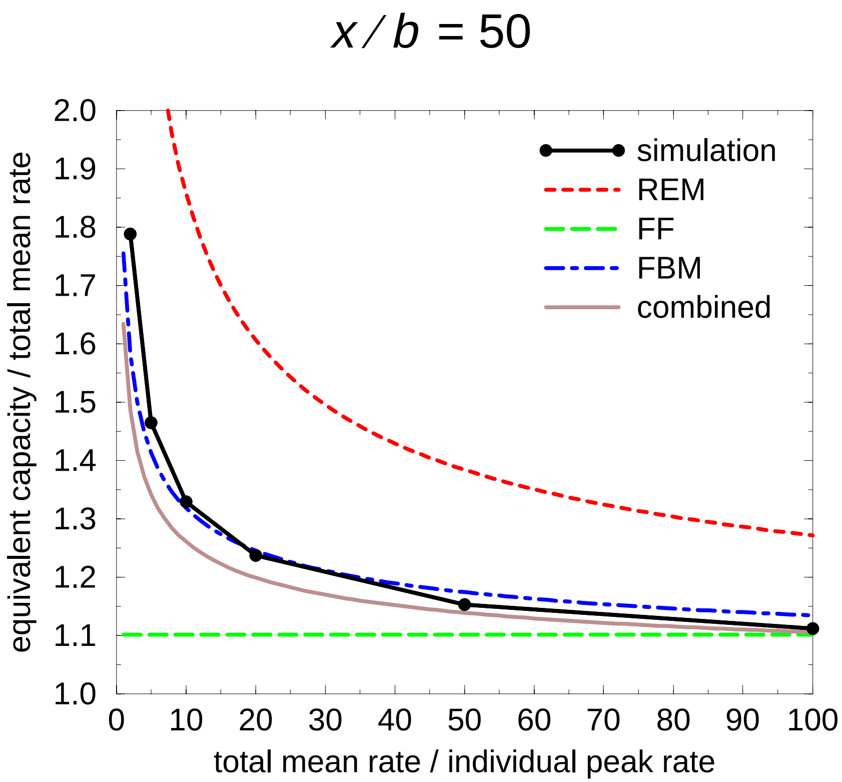


Effektive Bandbreite: M/Pareto ($H = 0.6$)



Effektive Bandbreite: M/Pareto ($H = 0.8$)





Zusammenfassung

- **Vorstellung verschiedener Methoden zur Approximation der effektiven Bandbreite**
- **Anpassung an M/Pareto-Verkehrsmodell**
- **Vergleich mit Burstebenen-Simulation**
  - FF: sehr ungenau in fast allen Bereichen
  - REM: konservativ, einigermaßen genau bei kleineren Puffern, vor allem bei starker Selbstähnlichkeit
  - FBM: zu konservativ bei schwacher Selbstähnlichkeit, zu optimistisch bei starker Selbstähnlichkeit und kleinem Puffer
  - kombinierte Methode: noch optimistischer als FBM, dadurch genauer bei schwacher Selbstähnlichkeit, aber schlechter bei starker Selbstähnlichkeit

➥ **FBM-Methode gut, aber nicht in allen Bereichen**

➥ **einfache REM-Approximation als Alternative**