Erste Bewertungen des probabilistischen *Network Calculus*

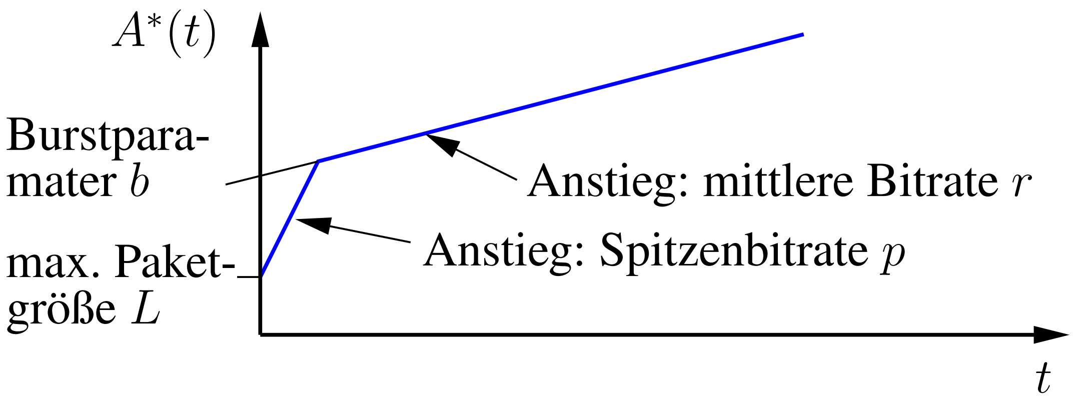
(„*work in progress*“)

Matthias Baumann
TU Dresden, Lehrstuhl Telekommunikation
baumann@ifn.et.tu-dresden.de

1. Prinzipien des *Network Calculus*
2. Probabilistische Erweiterung nach Burchard / Liebeherr
3. Vergleich von numerischen Berechnungen und Simulationsergebnissen
4. Zusammenfassung

Network Calculus

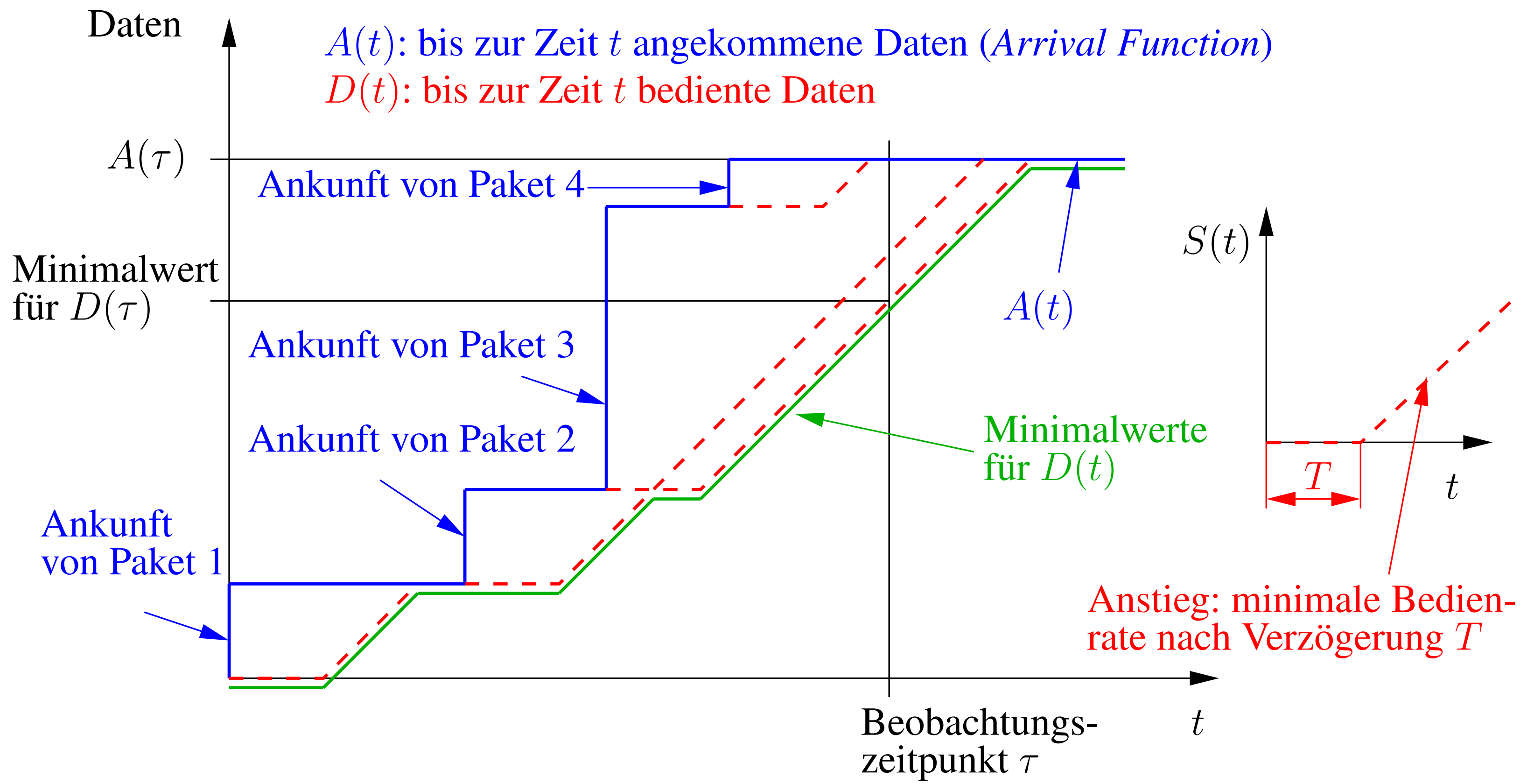
- Ziele für Leistungsbewertung in Paketnetzen:
  - deterministische Verkehrsbeschränkungen (erzwungen durch *Traffic Policing / Shaping*) einbeziehen
  - auch komplexe Verfahren für Paket-Scheduling beschreibbar machen
- Rene Cruz: Beschreibung eines Verkehrsflusses durch *Arrival Envelope* (1991), Beschreibung eines Paket-Schedulers durch *Service Curve* (1995)
- *Arrival Envelope* eines mit *Dual Token Bucket* regulierten Verkehrsflusses: $A^*(t) = \min(L + pt, b + \rho t)$



Arrival Envelope $A^*(t)$: maximale Datenmenge, die ein Fluss in einem beliebigen Zeitintervall der Länge t senden kann

Network Calculus (2)

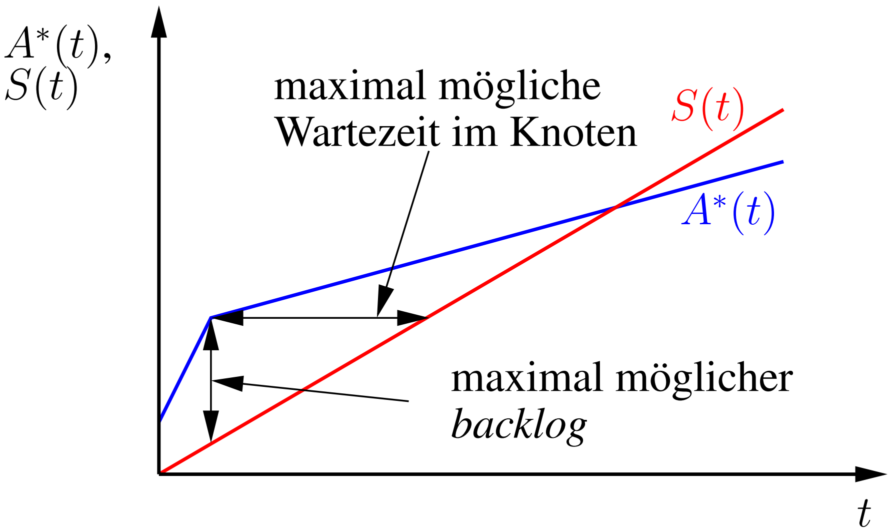
- Beschreibung von Knoten durch *Service Curve* $S(t)$: wieviele Daten werden im Intervall der Länge t mindestens bedient?



- **„min-plus-Faltung“:** $D(t) \geq \inf_{0 \leq s \leq t} \{A(s) + S(t-s)\} = (A * S)(t)$

Network Calculus (3)

- maximale Wartezeit und maximale flussbezogene Warteschlangenlänge (*backlog*) im Knoten können direkt berechnet werden



- Ende-zu-Ende-Aussagen ergeben sich aus Verkettung von einzelnen *Service Curves*:

$$S_{\text{net}}(t) = (S_1 * S_2 * \cdots * S_K)(t)$$

- heute gut ausgebaute Theorie, siehe z.B. Buch von Le Boudec (2001)

Network Calculus (4)

Probleme

- Theorie berücksichtigt jeweils den *worst case*
  ⇒ Anwendung bei der Flussannahme führt zu geringen Netzauslastungen
  ⇒ Erweiterung auf probabilistische Konzepte nötig
- Theorie erfordert *Arrival Envelopes* und *Service Curves* für einzelne Flüsse
  ⇒ Paket-Scheduler in Knoten müssen einzelne Flüsse behandeln
  ⇒ nicht für DiffServ-Architekturen geeignet

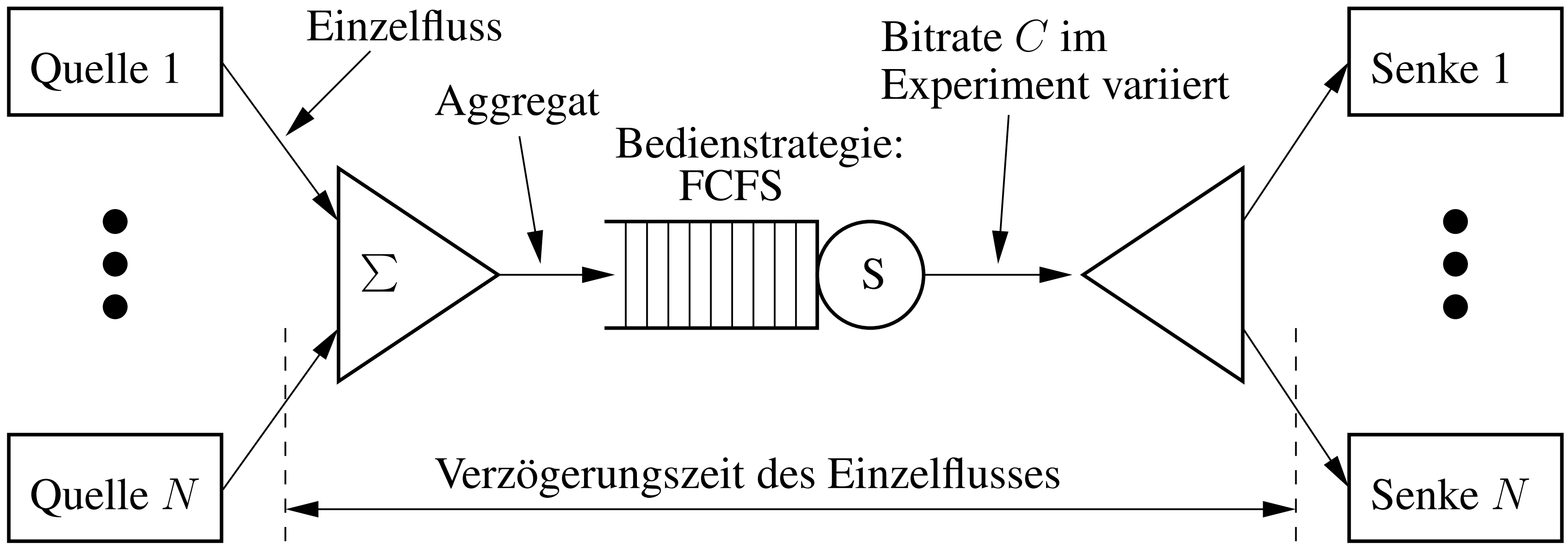
Ein Lösungsansatz

- Reihe von Veröffentlichungen von Almut Burchard und Jörg Liebeherr (Uni Virginia)
- probabilistische Verallgemeinerung der *Arrival Envelope*: *Effective Envelope* (analog zum Konzept der effektiven Bitrate)
- *Effective Service Curve*: erlaubt Untersuchung von Effekten bei Verkehrs-Aggregierung

Erste Bewertungen des probabilistischen *Network Calculus*

1. Prinzipien des *Network Calculus*
2. Probabilistische Erweiterung nach Burchard / Liebeherr
3. Vergleich von numerischen Berechnungen und Simulationsergebnissen
4. Zusammenfassung

Dienstgüte bei Verkehrsaggregierung



- gegeben: Quellenparameter (evtl. heterogen), Verzögerungsgrenzen für Pakete der Einzelflüsse
- gesucht: maximale Anzahl N von Verkehrsflüssen, so dass für jeden Einzelfluss die Verzögerungsgrenzen mit Wkt. $(1-\varepsilon)$ eingehalten werden

Untersuchung der Dienstgüte bei Aggregierung

- **Grundidee:** (Service für Einzelfluss) = (Gesamt-Service für Aggregat) – (Service für andere Flüsse im Aggregat)
- pessimistische Annahme: betrachteter Fluss mit niedriger Priorität bedient
  $\Rightarrow$ (Service für andere Flüsse) = (*Arrival Envelope* der anderen Flüsse)

$$S_j(t) = \max\left(0, S_{\mathcal{C}}(t) - \sum_{i \in \mathcal{C}, i \neq j} A_i^*(t)\right)$$

- Problem: Summe der deterministischen $A_i^*(t)$ stellt *worst-case* dar
  $\Rightarrow S_j(t)$ wird oft Null
- Ausweg: *Effective Envelope* (probabilistische *Envelope*) der anderen Flüsse führt zu Wahrscheinlichkeitsaussagen über verbleibenden Service

$$\mathcal{S}_j^{\varepsilon_1+\varepsilon_2}(t) = \max\left(0, S_{\mathcal{C}}(t) - \mathcal{H}_{\mathcal{C}-j}^{T^{\varepsilon_1}, \varepsilon_2}(t)\right)$$

$\Rightarrow$ ermöglicht probabilistische Aussagen zur Dienstgüte für Einzelfluss j

Berechnung der effektiven Enveloppe

- Abschätzung der Enveloppe über Chernov-Bound, dazu Minimum- bzw. Nullstellensuche nötig:

$$\mathcal{G}_{\mathcal{C}}^{\varepsilon}(t) = \inf_{s>0} \frac{1}{s} \left(\sum_{j \in \mathcal{C}} \log M_j(s,t) - \log \varepsilon \right)$$

  $\Rightarrow$ führt gegenwärtig noch zu relativ langen Rechenzeiten

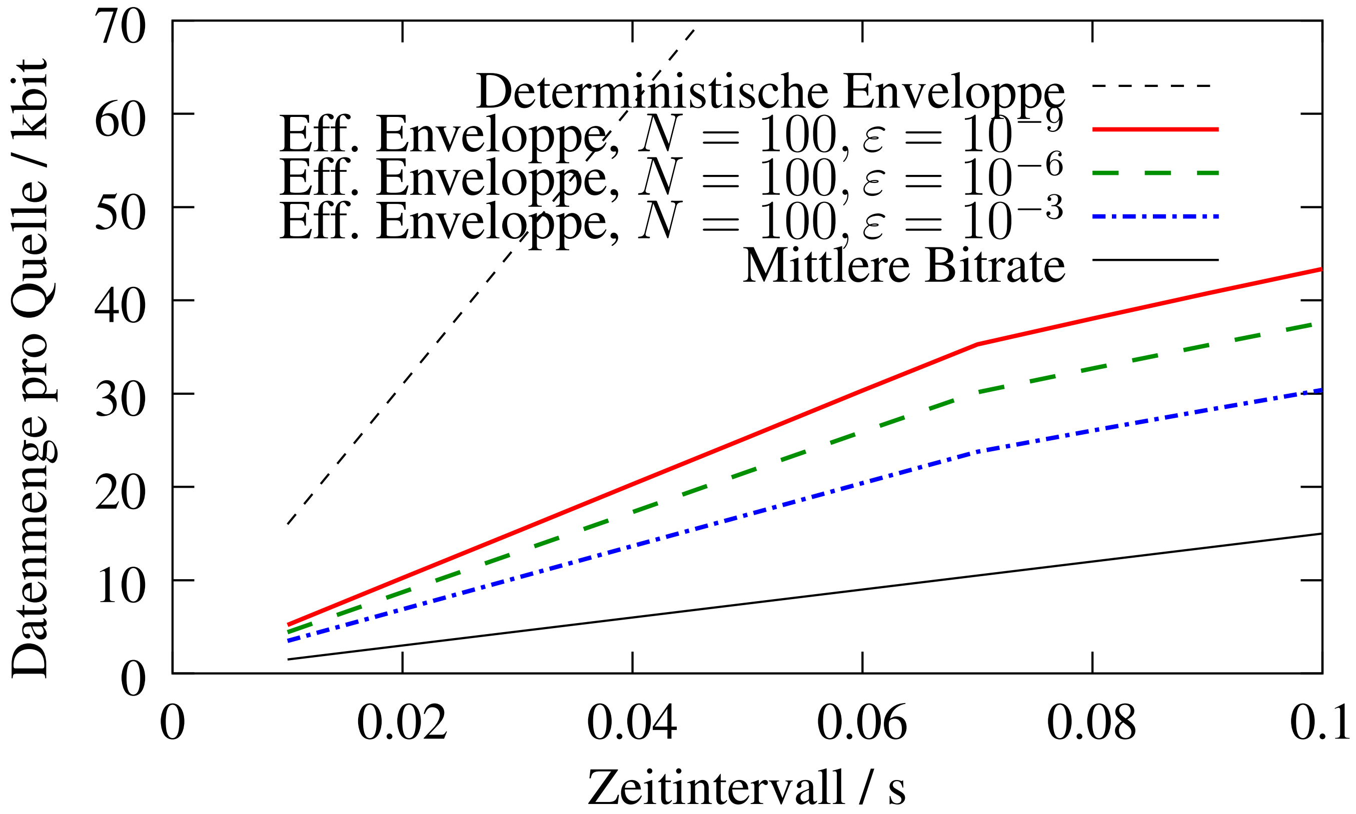
- benötigte Variante der *Strong Effective Envelope* $\mathcal{H}_{\mathcal{C}}^{\varepsilon}(t)$ einfach aus $\mathcal{G}_{\mathcal{C}}^{\varepsilon}(t)$ ableitbar
- erforderliche Momente-erzeugende Funktion $M_j(s,t)$ der *Arrival Envelope* $A_j^*(t)$ kann geschlossen angegeben werden

$$M_j(s,t) = 1 + \frac{r_j t}{A_j^*(t)} \left(e^{s A_j^*(t)} - 1 \right)$$

Erste Bewertungen des probabilistischen *Network Calculus*

1. Prinzipien des *Network Calculus*
2. Probabilistische Erweiterung nach Burchard / Liebeherr
3. Vergleich von numerischen Berechnungen und Simulationsergebnissen
4. Zusammenfassung

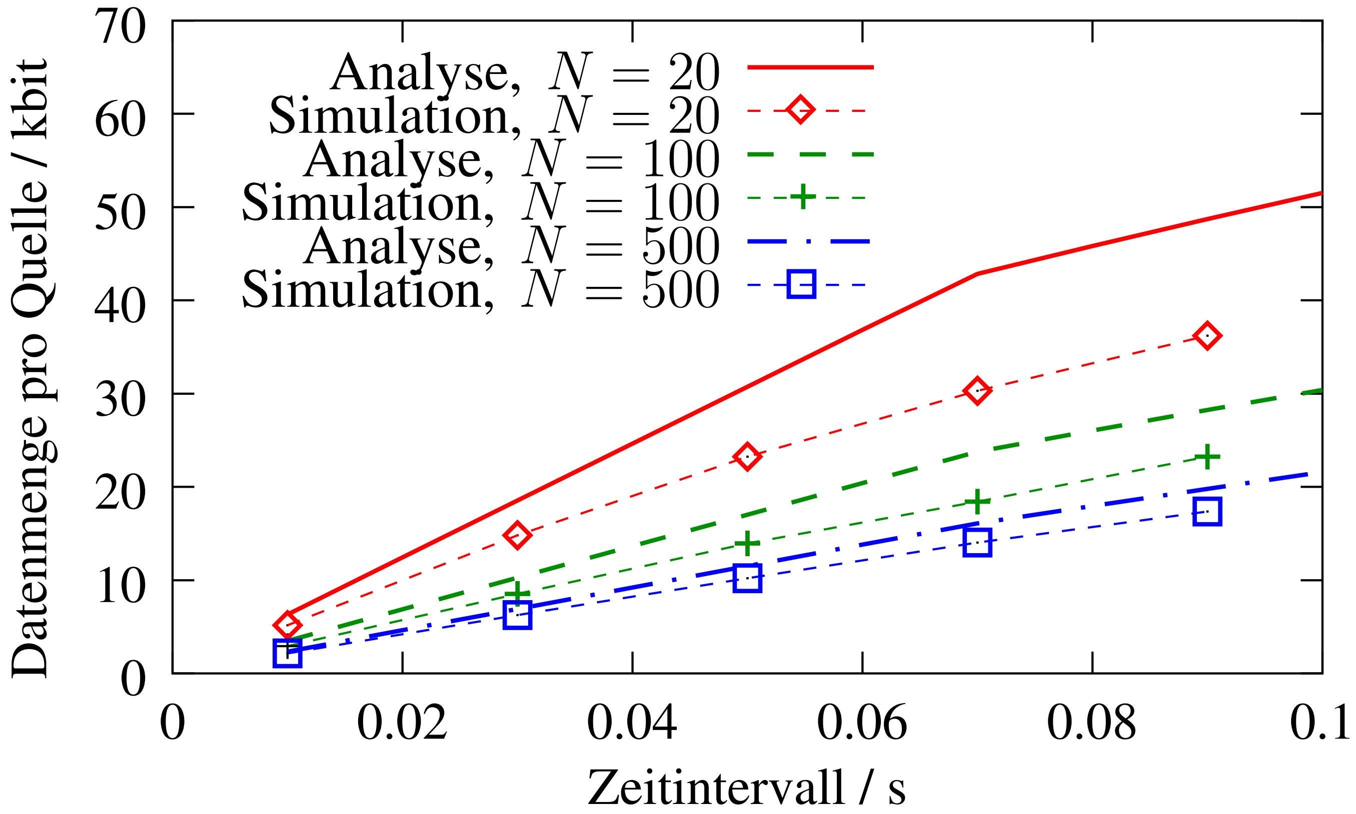
Deterministische und effektive Enveloppe



Quellenparameter:

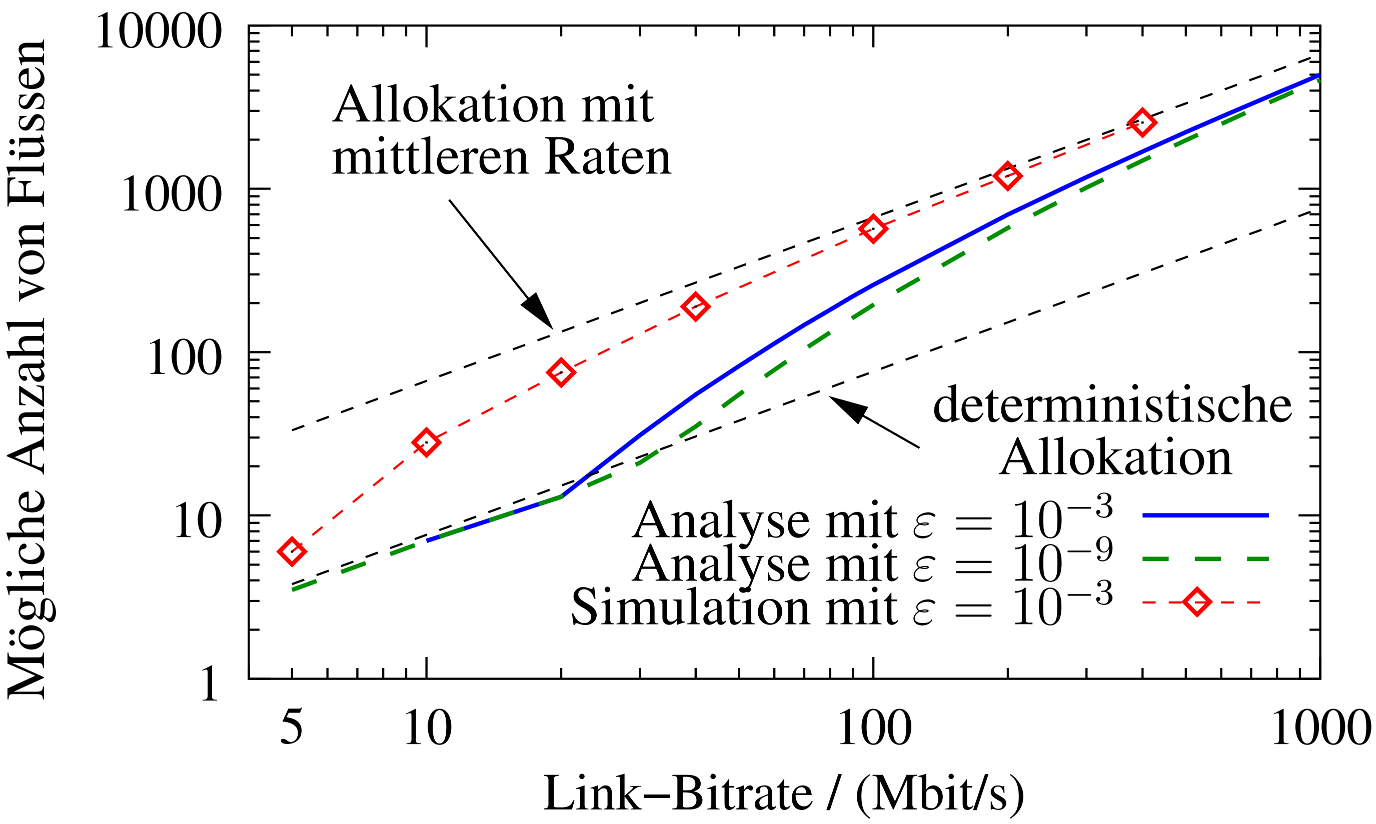
Spitzenbitrate: 1.5 Mbit/s	Paketgröße: 1 kbit
Mittlere Bitrate: 0.15 Mbit/s	maximale Burstgröße: 95 kbit

Effektive Enveloppe: Analyse vs. Simulation



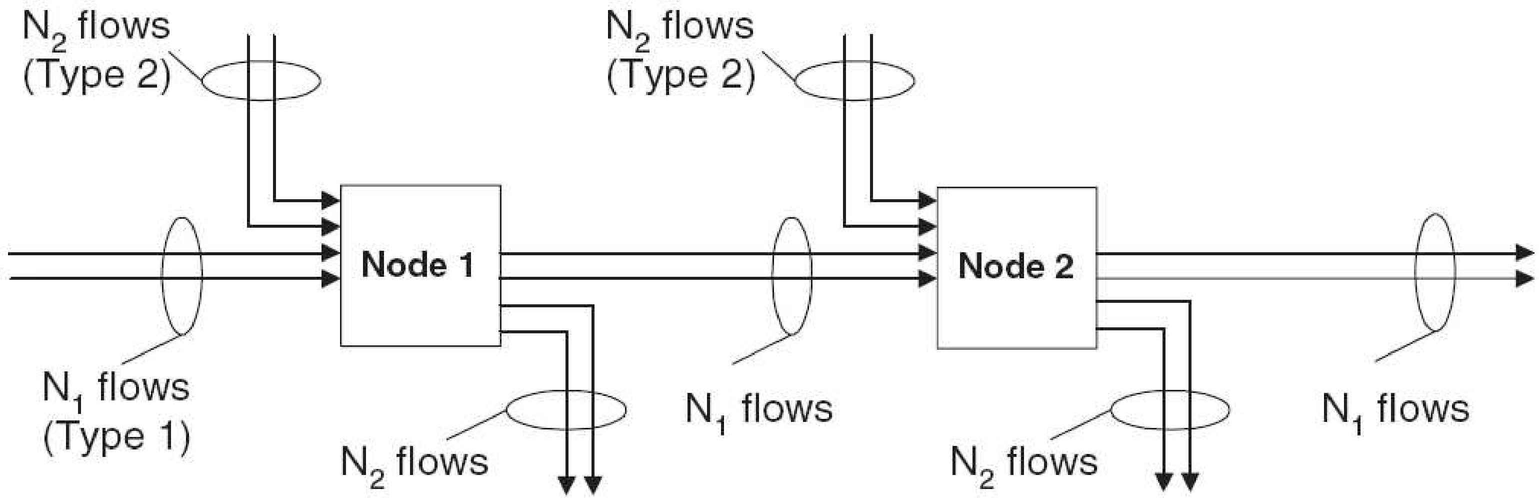
- Quellenparameter: ungeändert
- Verletzungswahrscheinlichkeit: $\varepsilon = 10^{-3}$
- Güte der berechneten effektiven Enveloppe steigt mit Quellenanzahl N

Ergebnisse für die Flussannahme



- sehr wenige Flüsse: Simulation nähert sich deterministischer Berechnung
- viele Flüsse: statistische Effekte werden von Theorie gut erfasst
- Übergangsbereich: nur teilweise befriedigende Ergebnisse
- interessanterer Fall mit heterogenen Flüssen: nächste Untersuchungen

Beispiel: Mehrere Multiplexpunkte



- heterogene Verkehrsflüsse
- Ziel: Bewertung der Ende-zu-Ende-Laufzeiten für Flüsse der Klasse 1
- wesentliches Problem: Verkehrsbeschreibung nach Knoten 1
  $\Rightarrow$ Einzelflüsse sind nicht mehr unabhängig
- gegenwärtig noch zu ungenaue Abschätzung („*Deconvolution*“ bezüglich des Aggregats): starke Überbewertung der Wartezeiten in Knoten 2

Zusammenfassung

- probabilistische Erweiterung des *Network Calculus* stellt interessante Möglichkeit zur Leistungsbewertung in Paketnetzen da
- Theorie erlaubt auch Dienstgüte-Bewertung für DiffServ-Architekturen
- Theorie ist noch in Entwicklung, gegenwärtiger Stand liefert z.T. noch zu grobe Abschätzungen
- besondere Herausforderung: rigorose Ende-zu-Ende-Berechnungen

Referenzen

- A. Burchard, J. Liebeherr, S.D. Patek: A calculus for end-to-end statistical service guarantees. Technical research report CS-2001-19, University of Virginia, 2001.
- J.Y. Le Boudec, P. Thiran: Network Calculus – A Theory of Deterministic Queuing Systems for the Internet. Springer, LNCS 2050, 2001. Online verfügbar via http://ica1www.epfl.ch/PS_files/NetCal.htm.
- R.L. Cruz: Quality of service guarantees in virtual circuit switched networks. IEEE Journal on Seleceted Areas in Communications, August 1995.
- J. Liebeherr, S.D. Patek, A. Burchard: Statistical per-flow service bounds in a network with aggregate provisioning. Proc. of IEEE Infocom 2003.