Diplomkolloquium

# Simulation zweispurigen Verkehrsflusses auf Basis zellularer Automaten

2. Mai 1994

Marcus Rickert

# Themen

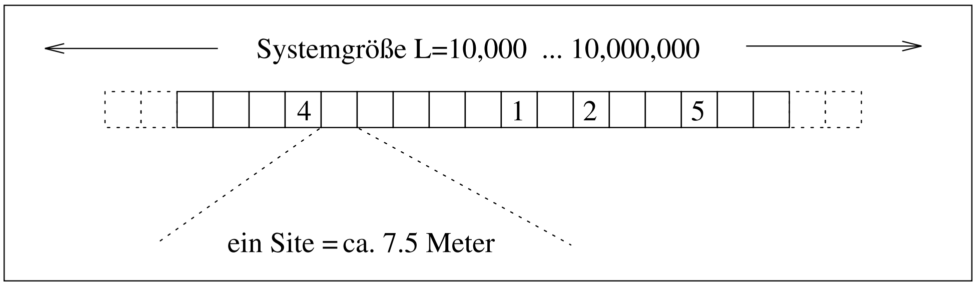
1. Grundlagen des einspurigen Modells

2. Erweiterungen im zweispurigen Modell

3. Aufbau und Simulation des Netzmodells

4. Ausblick

# Einspuriges Modell




- Diskrete Positionen (Sites), ca. 7.5 Meter breit

- Diskrete Geschwindigkeiten 0,1,2,3,4,5

- Paralleler Zeitschritt von ca. 1 [cm]

- Periodische Randbedingungen

# Regelwerk

$gap(succ) :=$ Anzahl Sites zum Vorgänger

**Beschleunigung**

$$v_i \quad \leftarrow \quad \text{min}( \quad v_i + 1 \quad , \quad v_{max} \quad )$$

**Abstand halten**

$$v_i \quad \leftarrow \quad \text{min}( \quad v \quad , \quad gap(succ) \quad )$$

**Verzögerung**

$$\text{if} \quad rand() < prob_d \quad \text{then} \quad v_i \leftarrow v_i - 1$$

**Update**

Fahrzeug $i$ wird $v_i$ Sites vorwärtsbewegt.

# Meßgrößen

Mit Systemgröße $L$ und $N$ Fahrzeugen:

- Dichte

$$\varrho = \frac{N}{L}$$

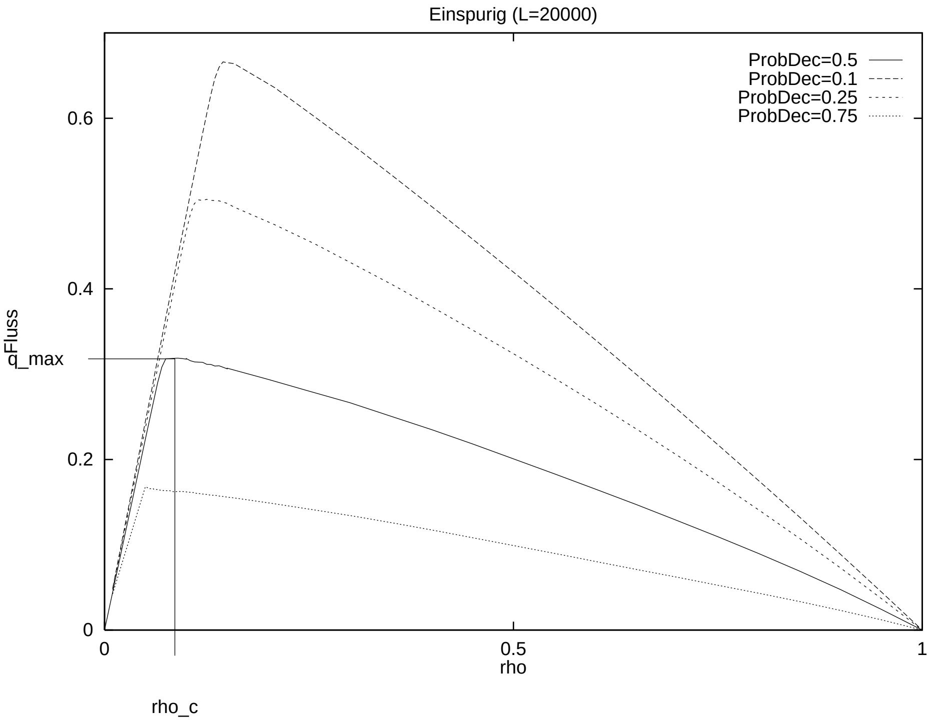
- Durchschnittsgeschwindigkeit

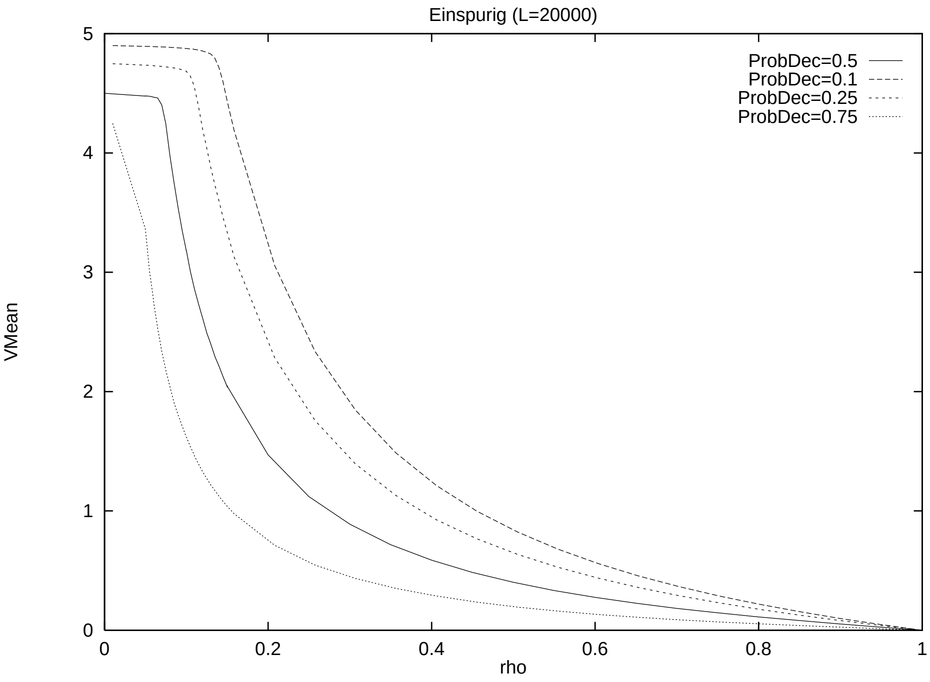
$$v_{mean} := \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} v_i$$

- Fluß

$$q := \varrho v_{mean} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^{N} v_i.$$

# Fundamentaldiagramme



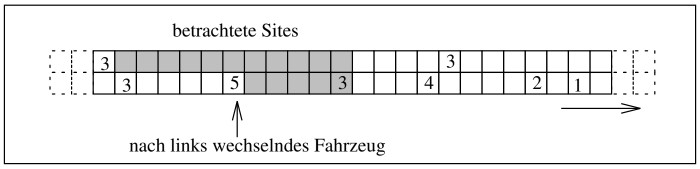



# Zweispuriges Modell

Neu gegenüber einspurigem Modell:

- Fahrzeugtypen (hier: unterschiedliche Höchstgeschwindigkeit)
- Spurwechsel (Austausch von Fahrzeugen zwischen den Spuren)
- Überholverbot (Beeinflussung durch Fahrzeuge auf der anderen Spur)

# Regelwerk (symmetrisch)




$$v_{hope} := \min(v+1, v_{max})$$

Ein Fahrzeug wechselt nach $\left\{ \begin{array}{l} \text{links} \\ \text{rechts} \end{array} \right\}$, falls folgende Bedingungen zutreffen:

**Aktuelle Spur ungünstig**

$$v_{hope} \quad > \quad gap(pred_s)$$

**Andere Spur besser**

$$v_{hope} \quad \leq \quad \left\{ \begin{array}{l} gap(pred_l) \\ gap(pred_r) \end{array} \right\}$$

**Genügend Abstand**

$$\left\{ \begin{array}{l} gap(succ_l) \\ gap(succ_r) \end{array} \right\} \quad > \quad 5$$

# Geschwindigkeitsbegrenzung

- Zwei Fahrzeugtypen mit $v_{max} = 3$ (15% Anteil) und $v_{max} = 5$ (85% Anteil)

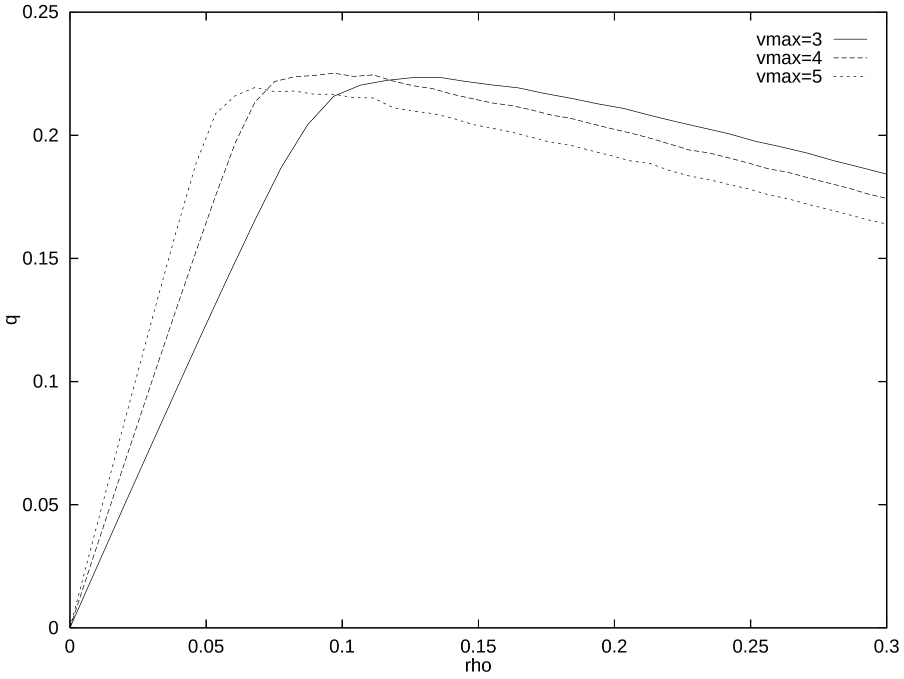
- Asymmetrischer Regelsatz: Fahrzeuge verbleiben eher auf der linken Spur (Drängler)

- Überholverbot: Fahrzeuge auf der rechten Spur werden auf die Geschwindigkeit ihres linken Vorgängers abgebremst.

## Folge:

Flußerhöhung bei Verminderung der Höchstgeschwindigkeit auf $v = 4$.

# Geschwindigkeitsbegrenzung (Forts.)



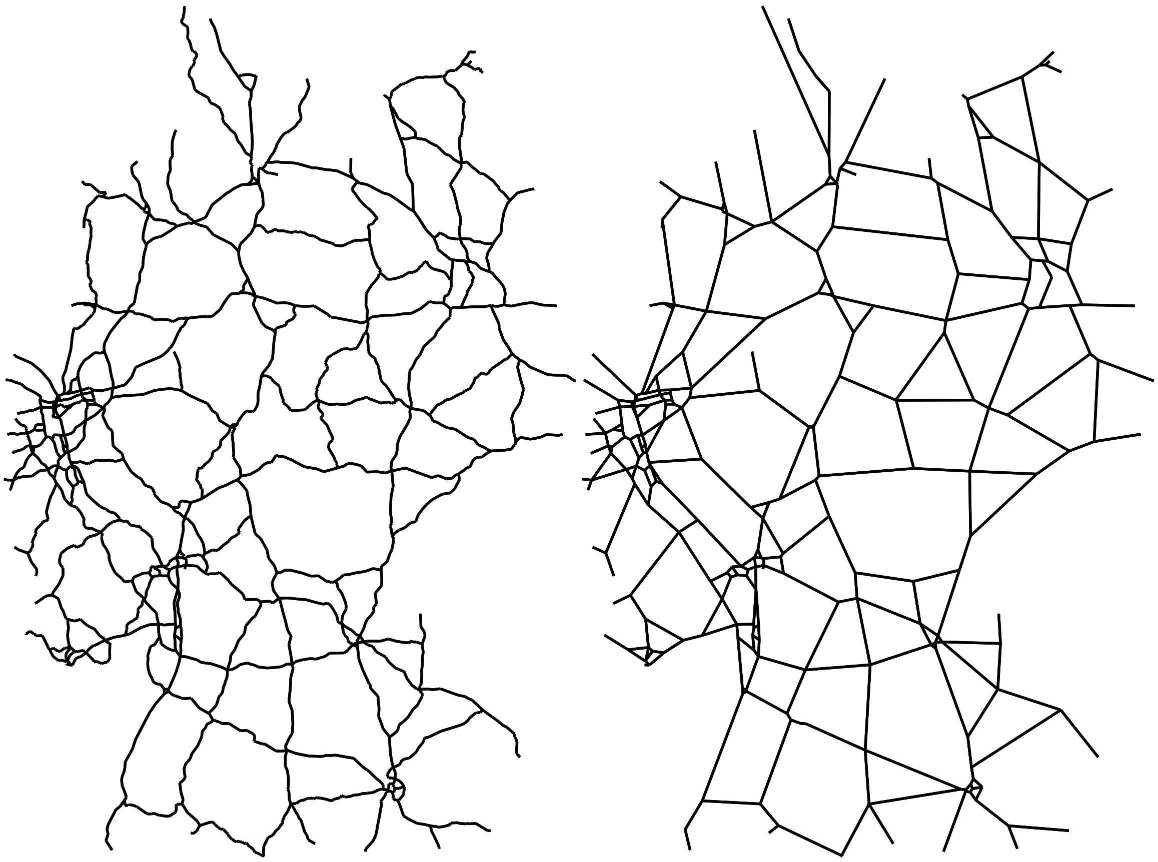
# Aspekte des Netzmodells

- Verwendung des zweispurigen Modells auf 'geraden' Strecken

- Definition des Fahrzeugverhaltens an Kreuzungspunkten und an Rändern mit geringem Zeitverlust bei der Ausführung

- Verwendung von Parallelrechnern zur Erzielung der notwendigen Rechenleistung

# Datengrundlage

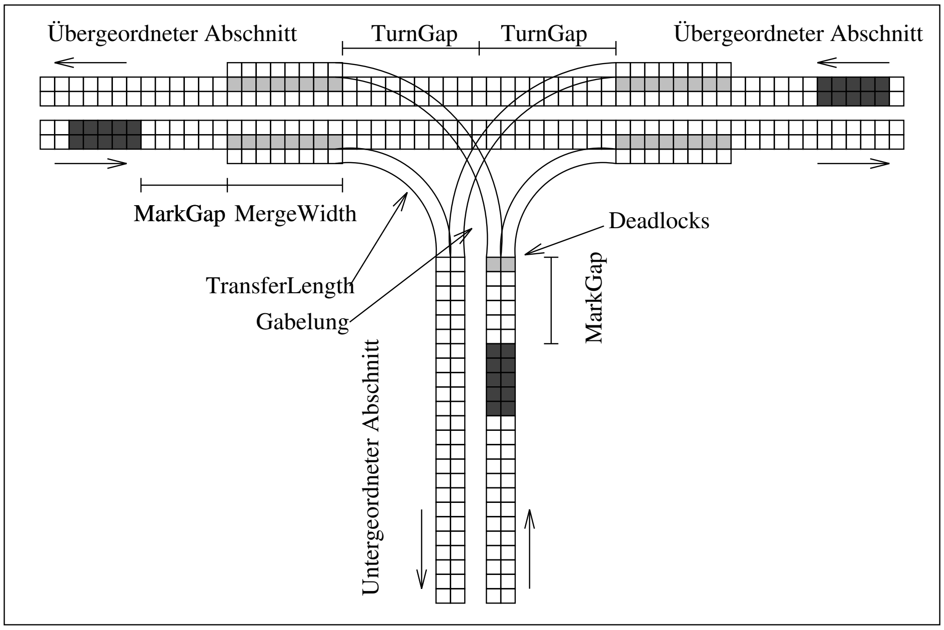


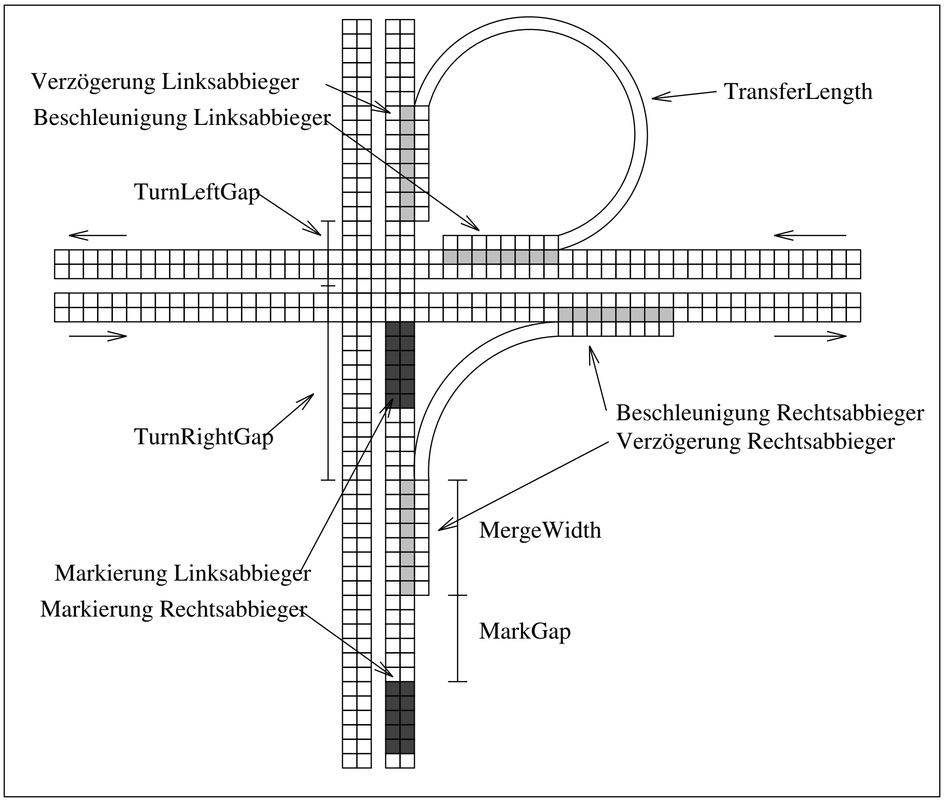
| Größe | NRW | BRD |
|---|---:|---:|
| Knoten | 549 | 3307 |
| Kanten | 1,160 | 6,860 |
| Endstücke | 19 | 46 |
| Autobahnanschlüsse | 349 | 1568 |
| Autobahndreiecke | 39 | 176 |
| Autobahnkreuze | 21 | 58 |
| Strecke [km] | 1,952 | 12,474 |
| Sites einspurig | 62,880 | 265,280 |
| Sites zweispurig | 1,041,204 | 6,653,016 |

# Netzelemente

- Einspuriger Transferabschnitt
- Zweispuriger Straßenabschnitt
- Beschleunigungs– und Verzögerungsstreifen
- Endstück
- Autobahnanschluß
- Autobahndreieck (*)
- Autobahnkreuz (*)

# Autobahndreieck– und kreuz



# Datenaufbereitung und Parallelisierung

1. Reduktion des Netzes durch Elimination von Knoten der Valenz 2 (Knoten $\rightarrow$ Superknoten, Kanten $\rightarrow$ Superkanten, *)

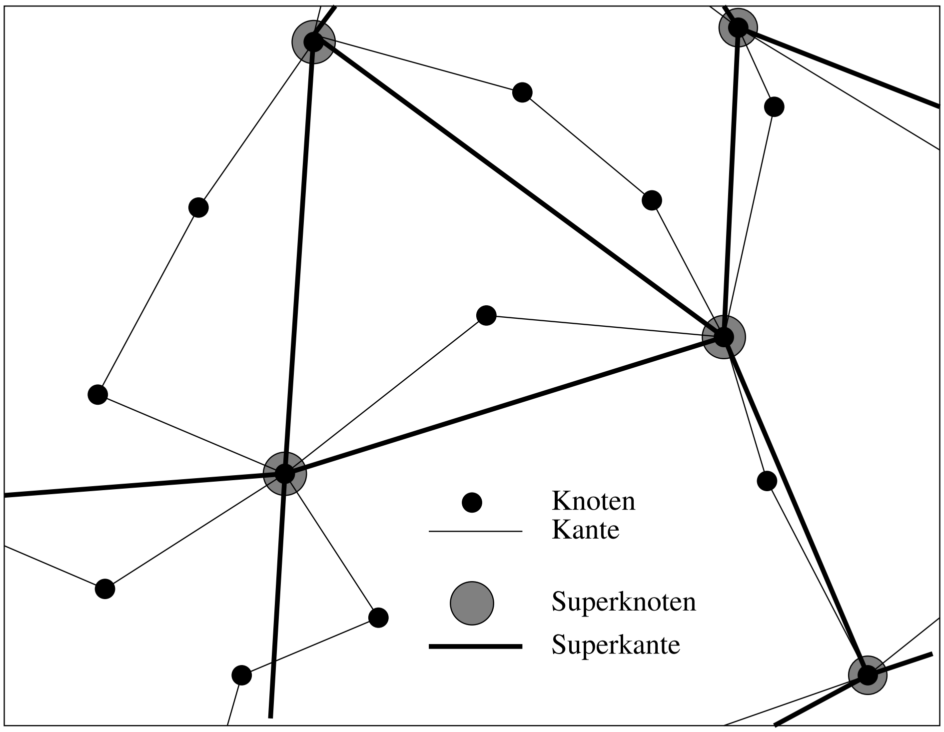
2. Geometrische Verteilung der Superknoten auf CPNs durch gleichmäßige Aufteilung der Gesamtlängen der inzidierenden Kanten (*)

3. Schnitt der Superkanten, die zwischen verschiedenen CPNs verlaufen. Austausch der Randinformationen (Boundaries) über Message Passing.

4. Aufsammeln der Superkanten zu Pfaden (*)

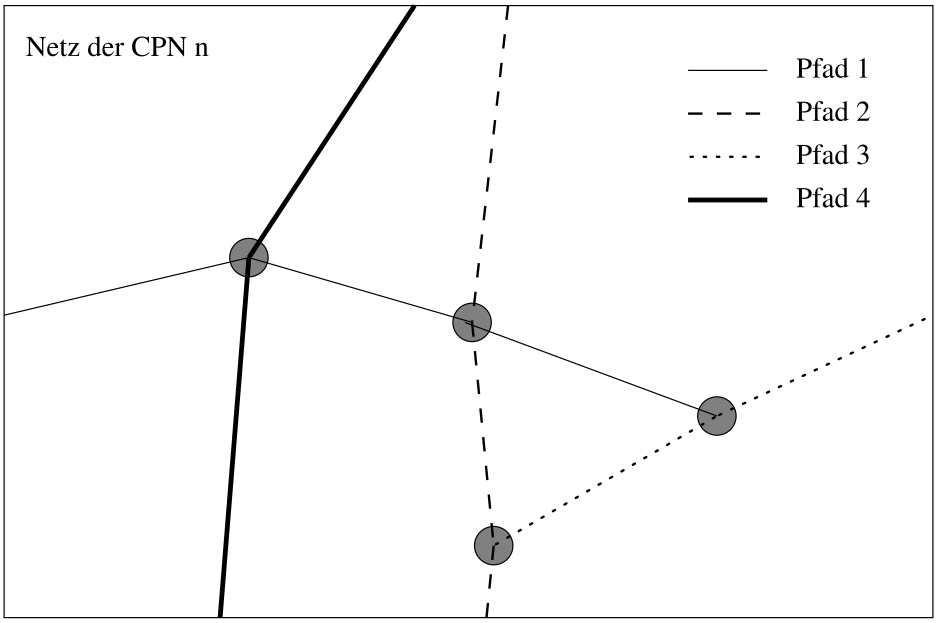
5. Ablauf der Simulation im SIMD-Prinzip.

# Reduktion des Netzes




Durch Entfernen aller Knoten der Valenz zwei wird die Anzahl der Kanten auf ca. ein Viertel reduziert. Die Positionen und Offsets der weggefallenenen Knoten bleibt jedoch bekannt für die Verwaltung der Anschlußstellen.

# Aufsammeln der Superkanten




Nach Verteilung der Superknoten werden auf jeder CPN die Superkanten zu Pfaden zusammengefaßt. Dabei wird möglichst dem geradlinigen Verlauf der Strecke gefolgt.

Ein Pfad endet entweder in einem Dreieck oder in einer Boundary.

# Wechsel der Fahrstrecke

1. Markierung des Abbiegewunsches mittels (zeitabhängiger, knotenabhängiger) Wahrscheinlichkeit

2. Beeinflussung des Fahrverhaltens:

   - Keine Wechsel auf die linke Spur

   - Vereinfachter Wechsel auf die rechte Spur

   - Abbremsen bei Erreichen des Endes des Verzögerungsstreifens

3. Absorption auf die Transferstrecke

4. Update entsprechend einspuriger Regeln auf der Transferstrecke

5. Emisission auf die neue zweispurige Zielstrecke am Beschleunigungsstreifen

# Geschwindigkeit der Simulation

## Netz von Nordrhein-Westfalen

| Rechner | CPU | CPN | MUPS | M/CPU | Echtz. |
|---|---|---|---|---|---|
| 486-DX2 | 1 | 2 | 0.61 | 0.61 | 0.55 |
| Sparc 10 | 2 | 2 | 2.36 | 1.18 | 3.05 |
| Paragon | 2 | 2 | 1.77 | 0.88 | 1.60 |
| Paragon | 4 | 4 | 3.32 | 0.83 | 3.01 |
| Paragon | 8 | 8 | 6.37 | 0.80 | 5.77 |
| Paragon | 16 | 16 | 11.01 | 0.69 | 10.00 |

## Netz der BRD

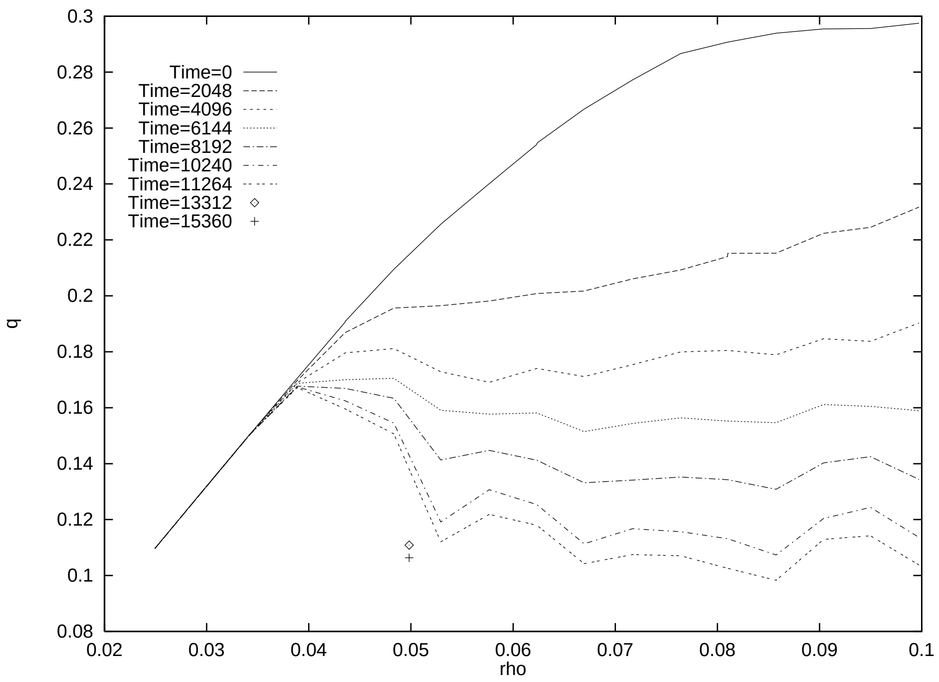
| Rechner | CPU | CPN | MUPS | M/CPU | Echtz. |
|---|---|---|---|---|---|
| Paragon | 16 | 16 | 14.02 | 0.88 | 2.1 |
| Paragon | 32 | 32 | 26.34 | 0.82 | 4.0 |
| Paragon | 64 | 64 | 38.45 | 0.60 | 5.8 |

# Verwendete Parameter

- Ein Fahrzeugtyp mit $v_{max} = 5$
- Spiegelnde Randbedigungen an den Endstücken: hinausfahrende Fahrzeuge machen kehrt und fahren mit gleicher Geschwindigkeit zurück.
- Keine Absorption oder Emission an den Anschlüssen.
- Hälftige Aufteilung des Fahrzeugstromes an den Dreiecken.
- Abbiegewahrscheinlichkeit von jeweils 5% nach links und rechts an Autobahnkreuzen

# Entwicklung des Gesamtflusses

Nach Füllen des Systems mit einer gegebenen Dichte, wird in regelmäßigen Intervallen Statistik des gesamten Systems aufgenommen.



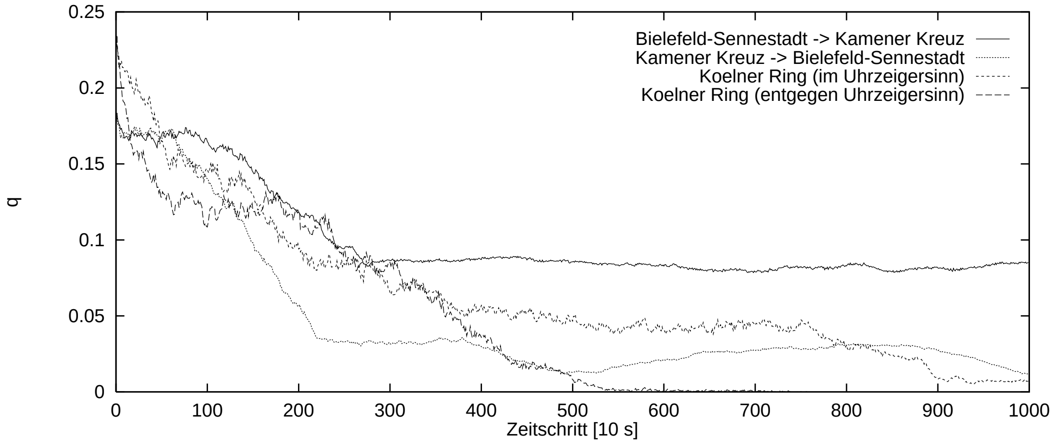
# Entwicklung einzelner Bereiche

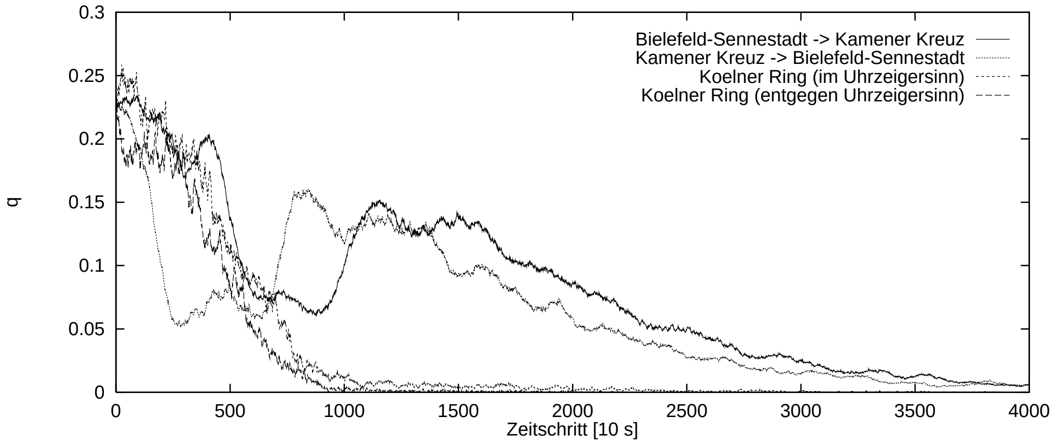
Wie vorher, nur wird nun die Statistik auf ausgesuchte Bereiche beschränkt:

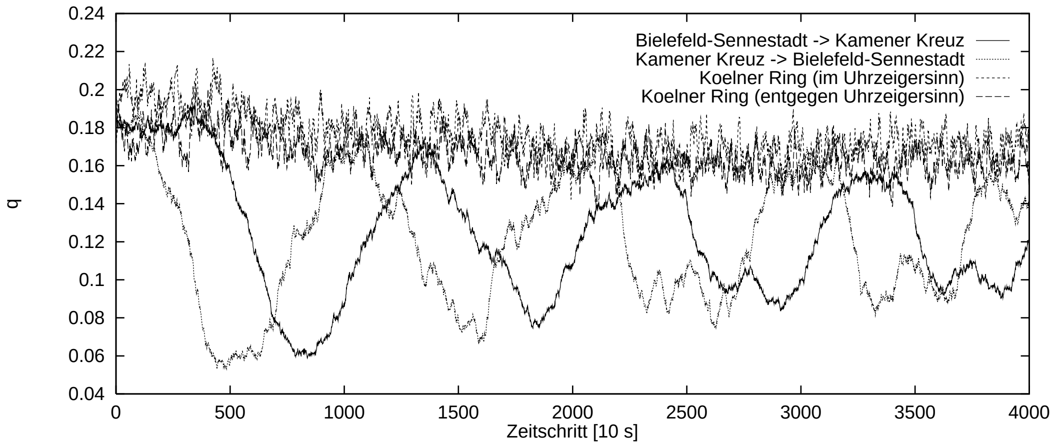
- langgestrecktes Autobahnstück zwischen dem Kamener Kreuz und der Anschlußstelle Bielefeld–Sennestadt (beide Richtungen)

- Kölner Autobahnring (beide Richtungen)

# Entwicklung einzelner Bereiche



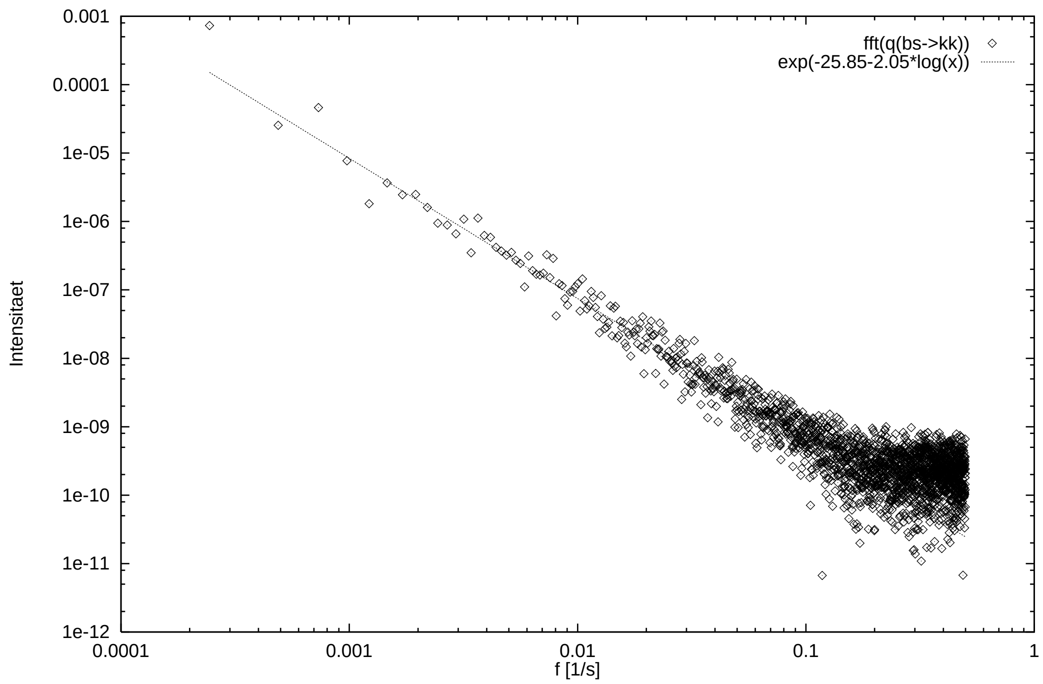



# Power–Spektrum des Flusses

Der Fluß zeigt bei Dichte 0.04 ein Power–Spektrum mit der Abhängigkeit

$$P(f) \propto e^{-2.05f}$$

über ca. 3 Größenordnungen. Dies erinnert stark an ein 1/f Rauschen, das zum Beispiel beim Fluß von granularen Medien durch Röhren gefunden wird.



# Ausblick

- Genauere Untersuchung des Zusammenbruchs in Abhängigkeit der Parameter

- Einführung von realistischen (zeitabhängigen) Transferwahrscheinlichkeiten

- Einführung von Routenplänen