

# *Peer-to-Peer- Netzwerke*



Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Rechnernetze und Telematik  
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

**Christian Schindelhauer**

Sommersemester 2006

8. Vorlesung

18.05.2006

**[schindel@informatik.uni-freiburg.de](mailto:schindel@informatik.uni-freiburg.de)**



# Inhalte

- **Kurze Geschichte der Peer-to-Peer-Netzwerke**
- **Das Internet: Unter dem Overlay**
- **Die ersten Peer-to-Peer-Netzwerke**
  - Napster
  - Gnutella
- **CAN**
- **Chord**
- **Pastry und Tapestry**
- **Gradoptimierte Netzwerke**
  - Viceroy
  - Distance-Halving
  - Koorde
- **Netzwerke mit Suchbäumen**
  - Skipnet und Skip-Graphs
  - P-Grid

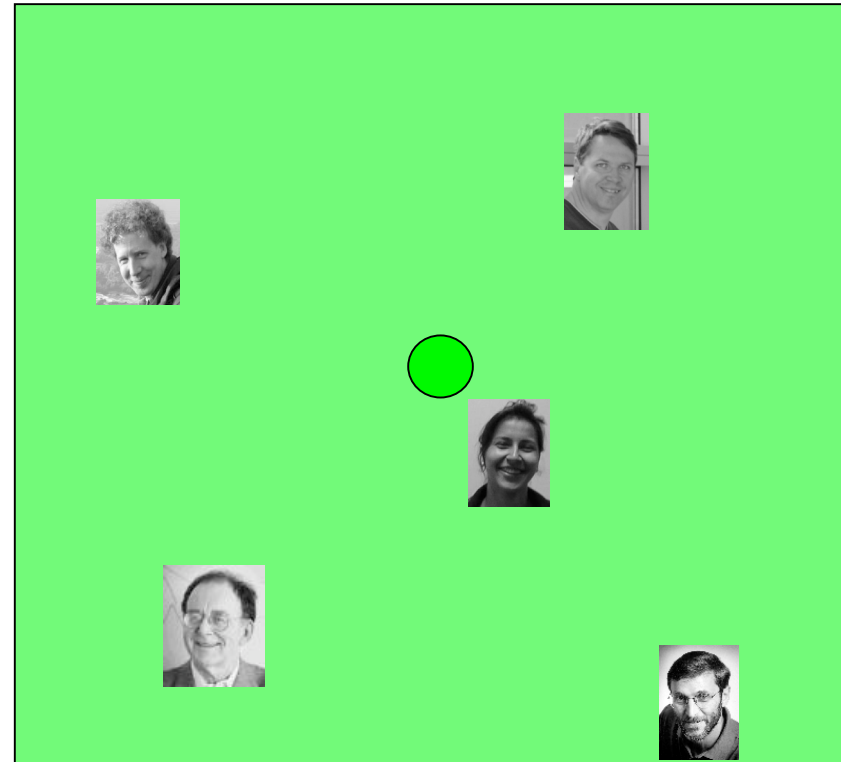
- **Selbstorganisation**
  - Pareto-Netzwerke
  - Zufallsnetzwerke
  - Selbstorganisation
  - Metrikbasierte Netzwerke Sicherheit in Peer-to-Peer-Netzwerken
- **Anonymität**
- **Datenzugriff: Der schnellere Download**
- **Peer-to-Peer-Netzwerke in der Praxis**
  - eDonkey
  - FastTrack
  - Bittorrent
- **Peer-to-Peer-Verkehr**
- **Juristische Situation**



# Content Addressable Network (CAN)

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Institut für Informatik  
Rechnernetze und Telematik  
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- Dateien werden in durch (zweiwertige)-Hash-Funktion in das Quadrat abgebildet
- Am Anfang ist ein leeres Quadrat mit nur einem Peer als Besitzer

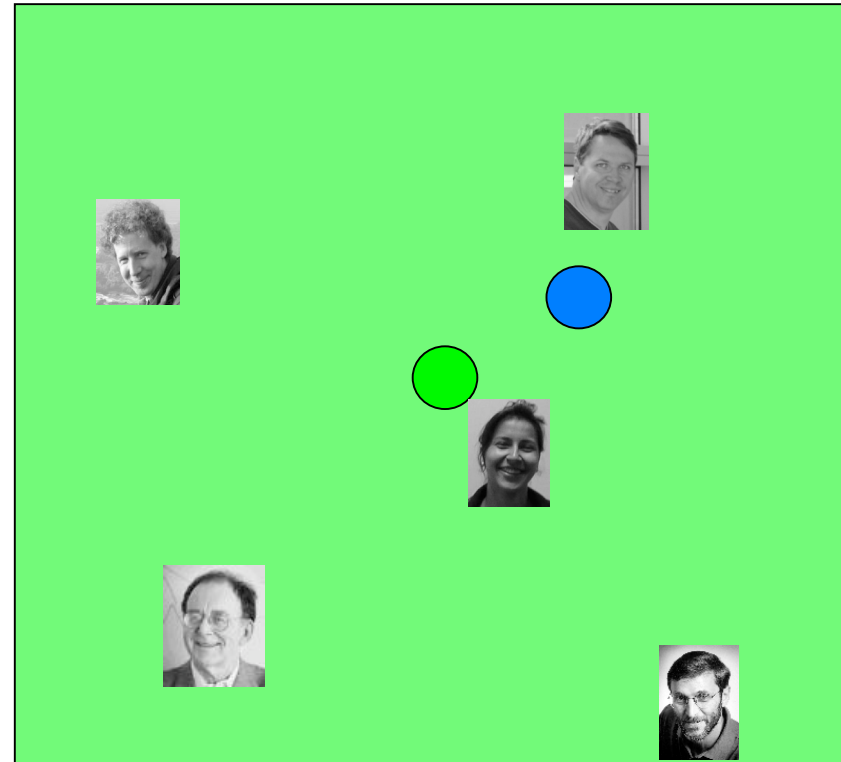




# Content Addressable Network (CAN)

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Institut für Informatik  
Rechnernetze und Telematik  
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- Dateien werden in durch (zweiwertige)-Hash-Funktion in das Quadrat abgebildet
- Am Anfang ist ein leeres Quadrat mit nur einem Peer als Besitzer
- Der Besitzer einer Fläche speichert alle Einträge in der Fläche
- Ein Peer wählt einen zufälligen Punkt in der Ebene

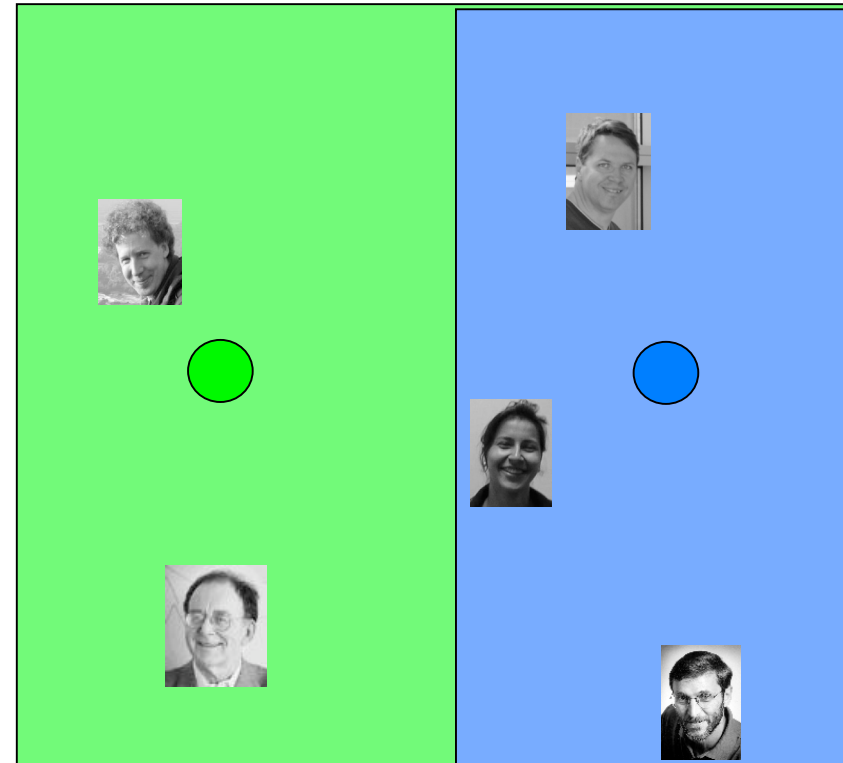




# Content Addressable Network (CAN)

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Institut für Informatik  
Rechnernetze und Telematik  
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- Dateien werden in durch (zweiwertige)-Hash-Funktion in das Quadrat abgebildet
- Am Anfang ist ein leeres Quadrat mit nur einem Peer als Besitzer
- Der Besitzer einer Fläche speichert alle Einträge in der Fläche
- Ein Peer wählt einen zufälligen Punkt in der Ebene
  - Der Besitzer des entsprechenden Quadrats teilt seine Fläche und
  - übergibt die Hälfte dem neuen Peer

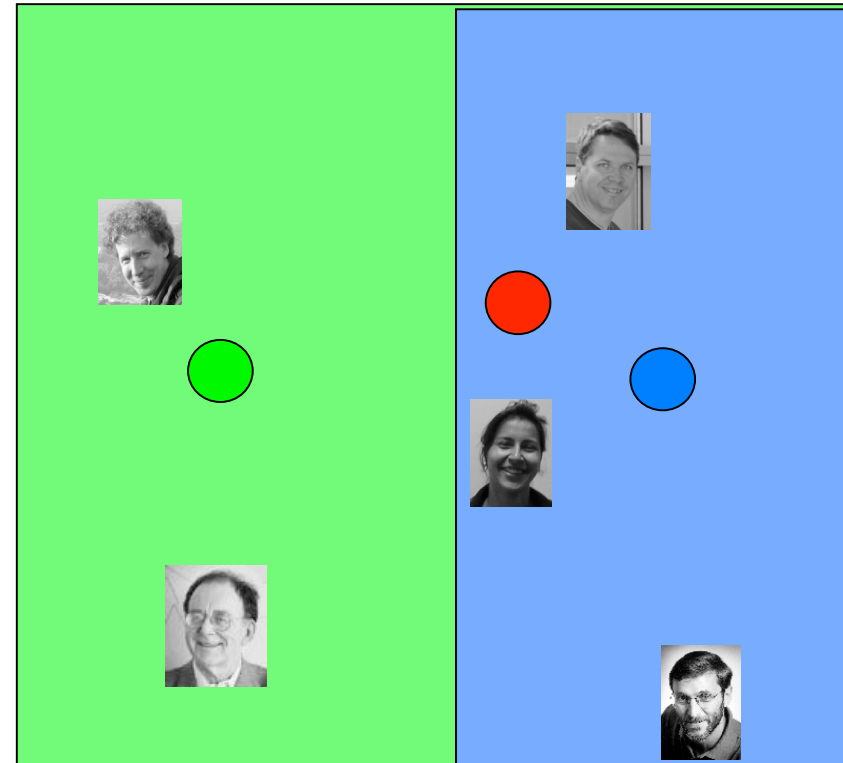




# Content Addressable Network (CAN)

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Institut für Informatik  
Rechnernetze und Telematik  
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- Dateien werden in durch (zweiwertige)-Hash-Funktion in das Quadrat abgebildet
- Am Anfang ist ein leeres Quadrat mit nur einem Peer als Besitzer
- Der Besitzer einer Fläche speichert alle Einträge in der Fläche
- Ein Peer wählt einen zufälligen Punkt in der Ebene
  - Der Besitzer des entsprechenden Quadrats teilt seine Fläche und
  - übergibt die Hälfte dem neuen Peer

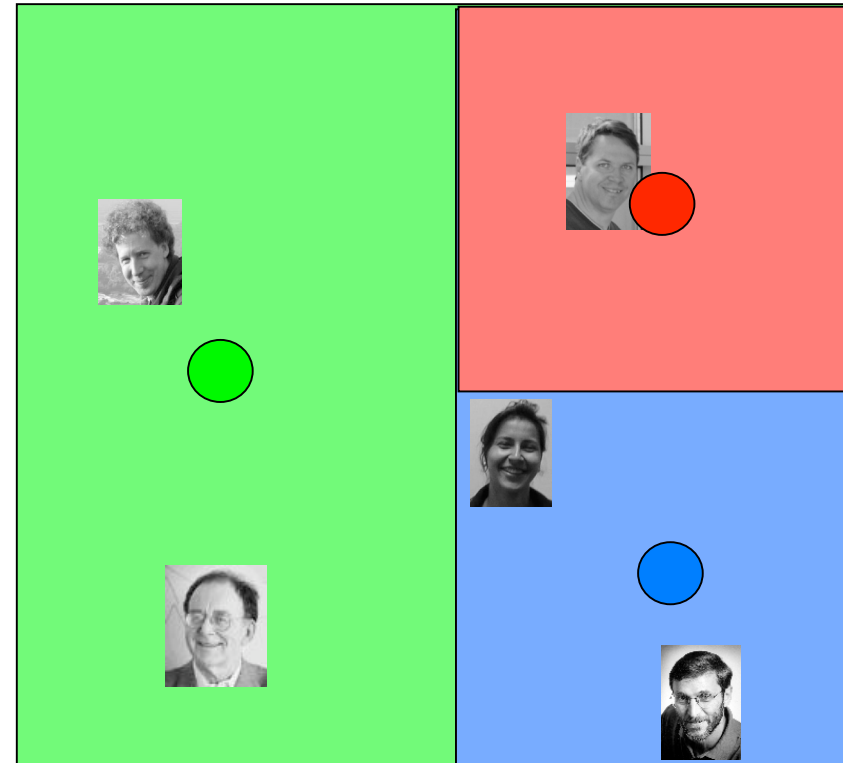




# Content Addressable Network (CAN)

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Institut für Informatik  
Rechnernetze und Telematik  
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- Dateien werden in durch (zweiwertige)-Hash-Funktion in das Quadrat abgebildet
- Am Anfang ist ein leeres Quadrat mit nur einem Peer als Besitzer
- Der Besitzer einer Fläche speichert alle Einträge in der Fläche
- Ein Peer wählt einen zufälligen Punkt in der Ebene
  - Der Besitzer des entsprechenden Quadrats teilt seine Fläche und
  - übergibt die Hälfte dem neuen Peer

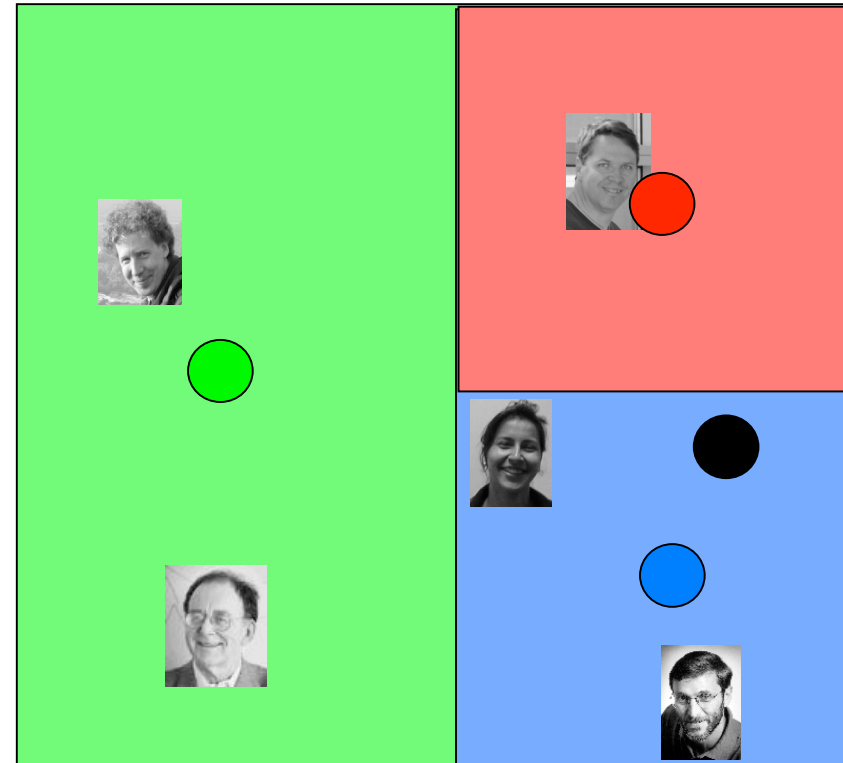




# Content Addressable Network (CAN)

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Institut für Informatik  
Rechnernetze und Telematik  
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- Dateien werden in durch (zweiwertige)-Hash-Funktion in das Quadrat abgebildet
- Am Anfang ist ein leeres Quadrat mit nur einem Peer als Besitzer
- Der Besitzer einer Fläche speichert alle Einträge in der Fläche
- Ein Peer wählt einen zufälligen Punkt in der Ebene
  - Der Besitzer des entsprechenden Quadrats teilt seine Fläche und
  - übergibt die Hälfte dem neuen Peer



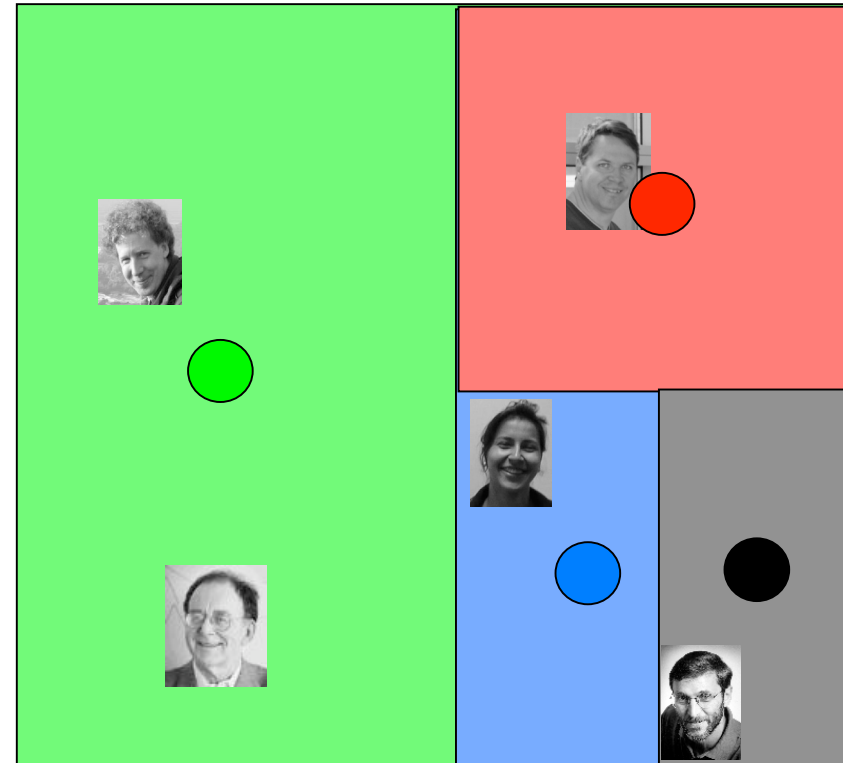




# Content Addressable Network (CAN)

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Institut für Informatik  
Rechnernetze und Telematik  
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- Dateien werden in durch (zweiwertige)-Hash-Funktion in das Quadrat abgebildet
- Am Anfang ist ein leeres Quadrat mit nur einem Peer als Besitzer
- Der Besitzer einer Fläche speichert alle Einträge in der Fläche
- Ein Peer wählt einen zufälligen Punkt in der Ebene
  - Der Besitzer des entsprechenden Quadrats teilt seine Fläche und
  - übergibt die Hälfte dem neuen Peer

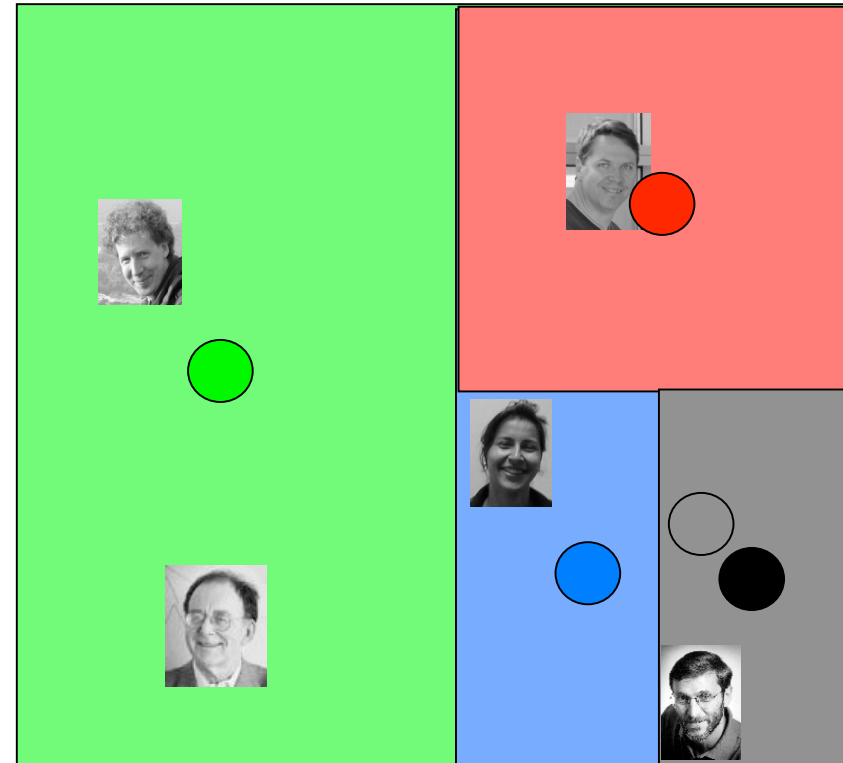




# Content Addressable Network (CAN)

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Institut für Informatik  
Rechnernetze und Telematik  
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- Dateien werden in durch (zweiwertige)-Hash-Funktion in das Quadrat abgebildet
- Am Anfang ist ein leeres Quadrat mit nur einem Peer als Besitzer
- Der Besitzer einer Fläche speichert alle Einträge in der Fläche
- Ein Peer wählt einen zufälligen Punkt in der Ebene
  - Der Besitzer des entsprechenden Quadrats teilt seine Fläche und
  - übergibt die Hälfte dem neuen Peer

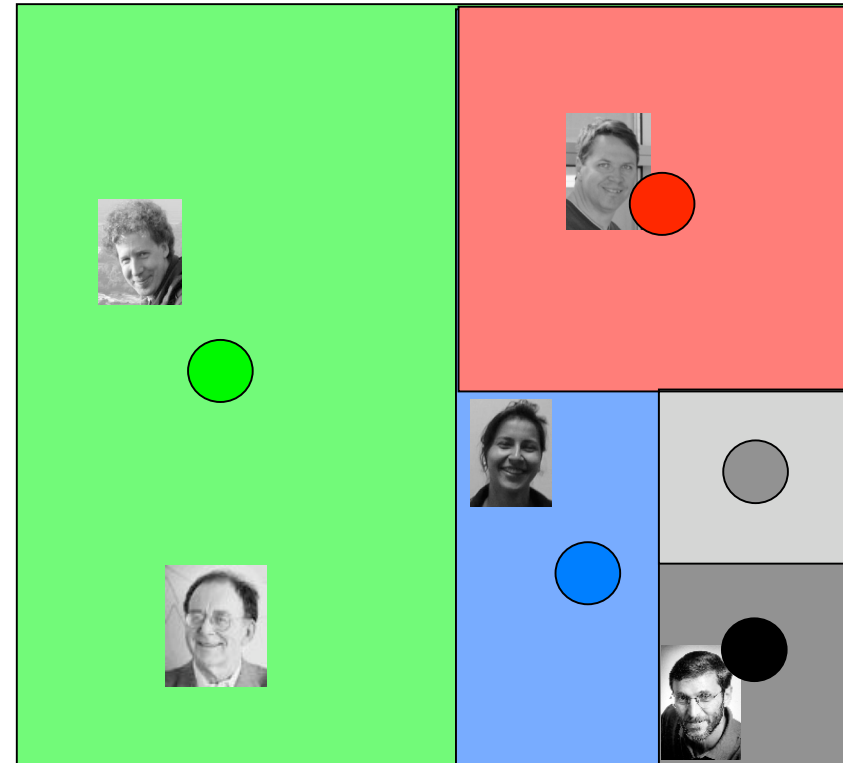




# Content Addressable Network (CAN)

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Institut für Informatik  
Rechnernetze und Telematik  
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- Dateien werden in durch (zweiwertige)-Hash-Funktion in das Quadrat abgebildet
- Am Anfang ist ein leeres Quadrat mit nur einem Peer als Besitzer
- Der Besitzer einer Fläche speichert alle Einträge in der Fläche
- Ein Peer wählt einen zufälligen Punkt in der Ebene
  - Der Besitzer des entsprechenden Quadrats teilt seine Fläche und
  - übergibt die Hälfte dem neuen Peer





# Wie gleichmäßig werden die Daten verteilt?

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Institut für Informatik  
Rechnernetze und Telematik  
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

## ➤ Lemma

- Mit Wahrscheinlichkeit  $(\log n) n^{-c}$  wird ein Rechteck der Größe  $2c(\ln n)/n$  nicht geteilt.

## ➤ Wenn $m$ Elemente insgesamt gespeichert werden,

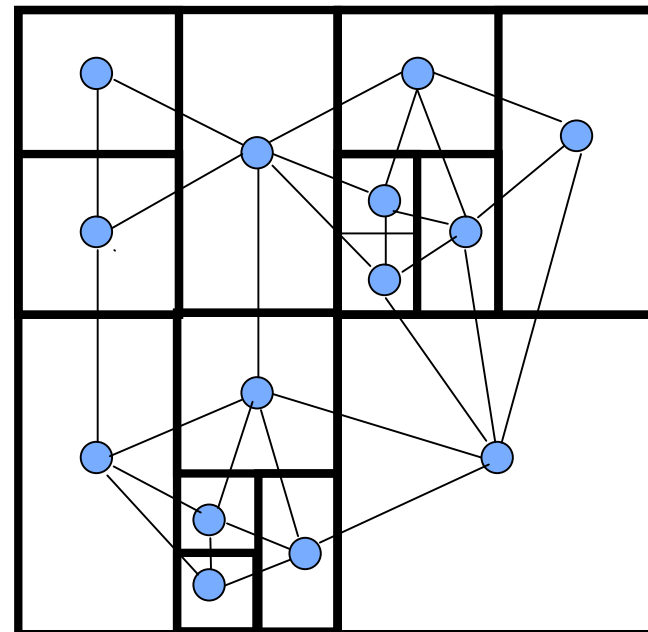
- so erhält jeder Peer also maximal  $2c(\ln n) m/n$  Elemente,
- während der Durchschnitt  $m/n$  Elemente speichert

## ➤ Also speichert jeder Peer höchstens $2c(\ln n)$ mal mehr als der Durchschnittspeer mit hoher Wahrscheinlichkeit.



# Lookup in CAN

- Zuerst wird Ort des Indexes durch Berechnung der Hash-Funktion bestimmt
- Zwischen den Besitzer benachbarter Rechtecke bestehen Kanten
- Anfrage wird in Richtung des Index weitergeleitet
- **d Dimension des Quadrats**
  - 1: Linie
  - 2: Quadrat
  - 3: Würfel
  - 4: ...
- Erwartete Anzahl Hops in d Dimensionen:  
 $n^{1/d}$
- Durchschnittlicher Grad eines Knotens:  
 $O(d)$





# Einfügen in CAN = Random Tree

## ➤ Random Tree

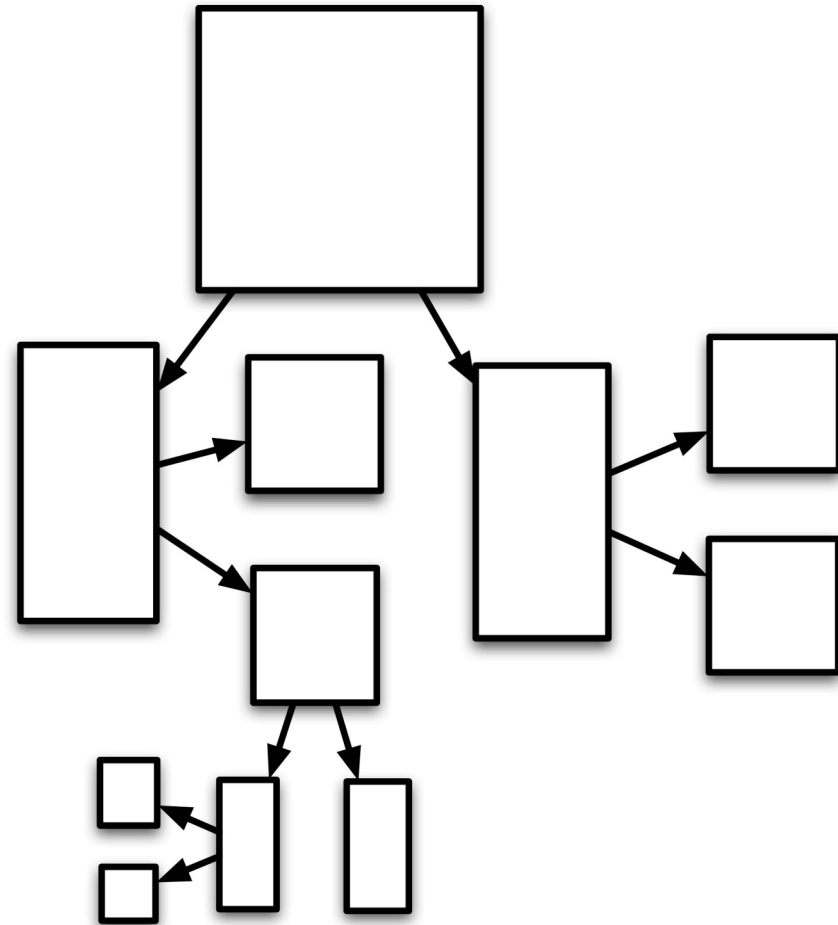
- Neue Blätter werden zufällig eingefügt
- Falls Wurzel interner Knoten, gehe zufällig in linken oder rechten Teilbaum
- Falls Wurzel ist Blatt, füge zwei Blatt an diese Wurzel an

## ➤ Tiefe:

- im Erwartungswert  $2 \log n + O(1)$
- Tiefe  $O(\log n)$  mit hoher Wahrscheinlichkeit, d.h.  $1 - n^{-c}$

## ➤ Beobachtung

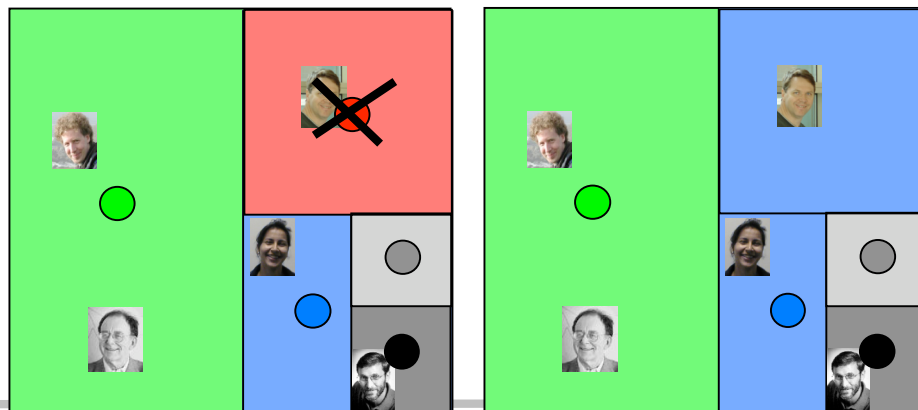
- CAN fügt neue Peers ein wie neue Blätter beim Random Tree eingefügt werden



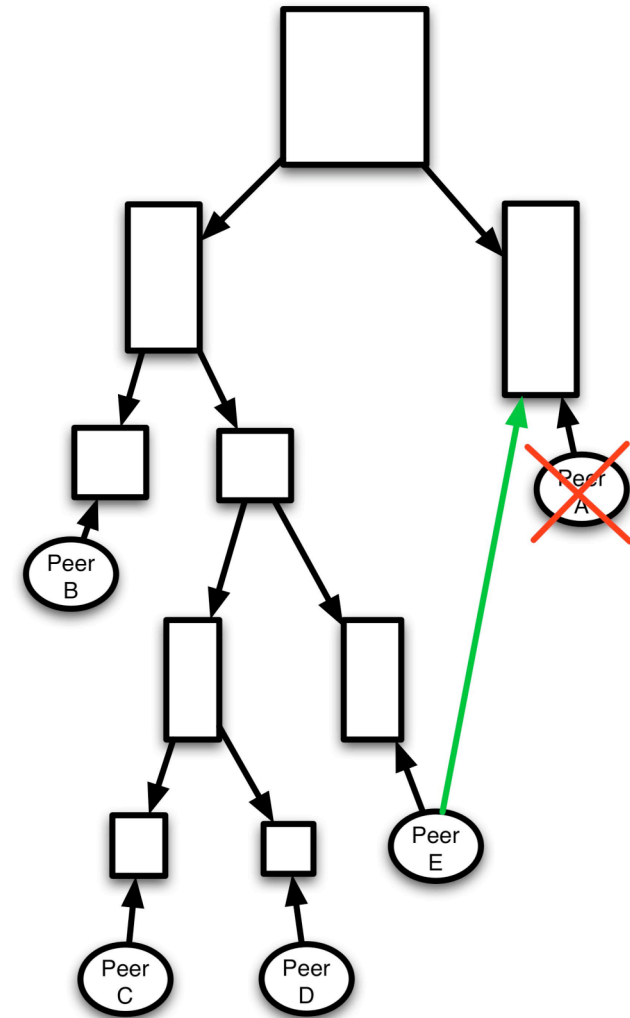


# Entfernen von Peers in CAN

- **Verschwundet ein Peer,**
  - meldet er das nicht vorher an
    - Daher Nachbarn testen regelmäßig Anwesenheit
  - übernimmt der erste Nachbar der das merkt das Gebiet des verschwundenen Peers
- **Peers können mehrere Gebiete verwalten**
- **Häufiges Einfügen und Entfernen führt zur Kleinstaaterei (Fragmentierung)**



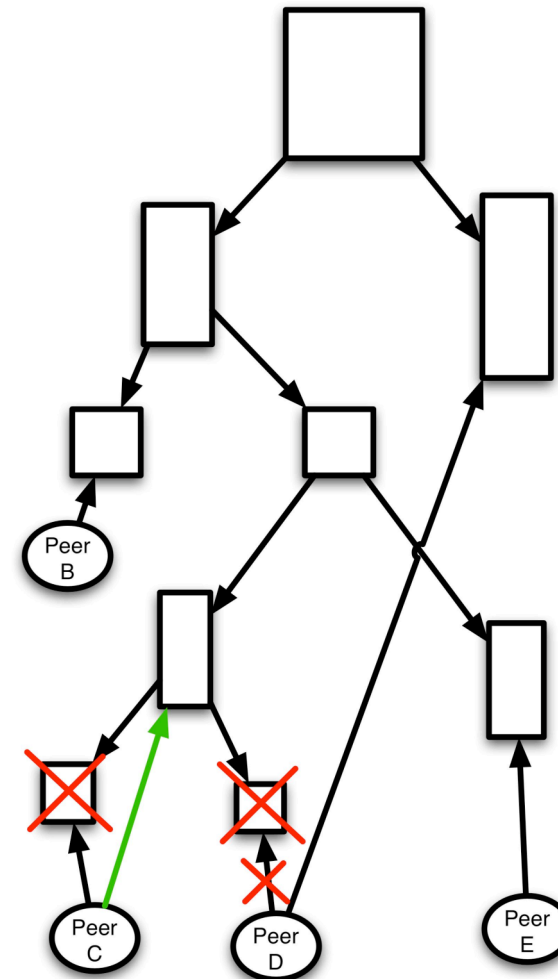
Peer-to-Peer-Netzwerke





# Defragmentierung - der einfache Fall

- Um die Fragmentierung zu beseitigen, wird von Zeit zu Zeit eine Zonenneuweisung durchgeführt
- Für jeden Peer, der mindestens zwei Zonen hat,
- Lösche kleinste Zone des Peers und finde Ersatzpeer für dieses Gebiet
- 1. Fall:  
Nachbarzone im Baum ist ungeteilt
  - Dann sind beide Peers Blätter im CAN-Baum
  - Übertrage Zone dem Nachbarknoten

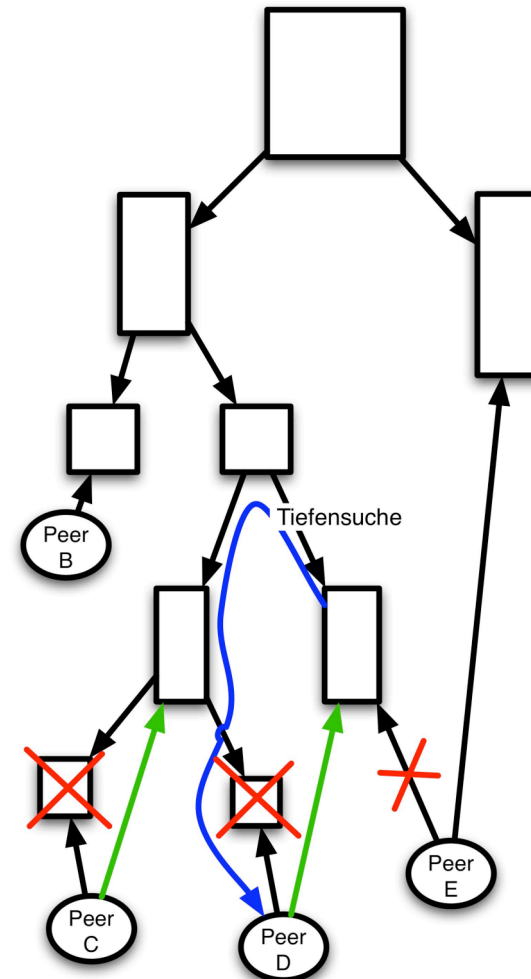






# Defragmentierung - der schwierige Fall

- Für jeden Peer, der mindestens zwei Zonen hat,  
Zonen hat,
  - Lösche kleinste Zone des Peers und finde Ersatzpeer für dieses Gebiet
- **2. Fall:**  
**Nachbarzone im Baum ist weiter unterteilt**
- Führe Tiefensuche in Nachbarbaum durch, bis zwei benachbarte Blätter gefunden worden sind
  - Übertrage einem Blatt (Peer) die Zonen beider Blätter und
  - wähle das andere Blatt (Peer) als Ersatzpeer





# Systemverbesserungen für CAN

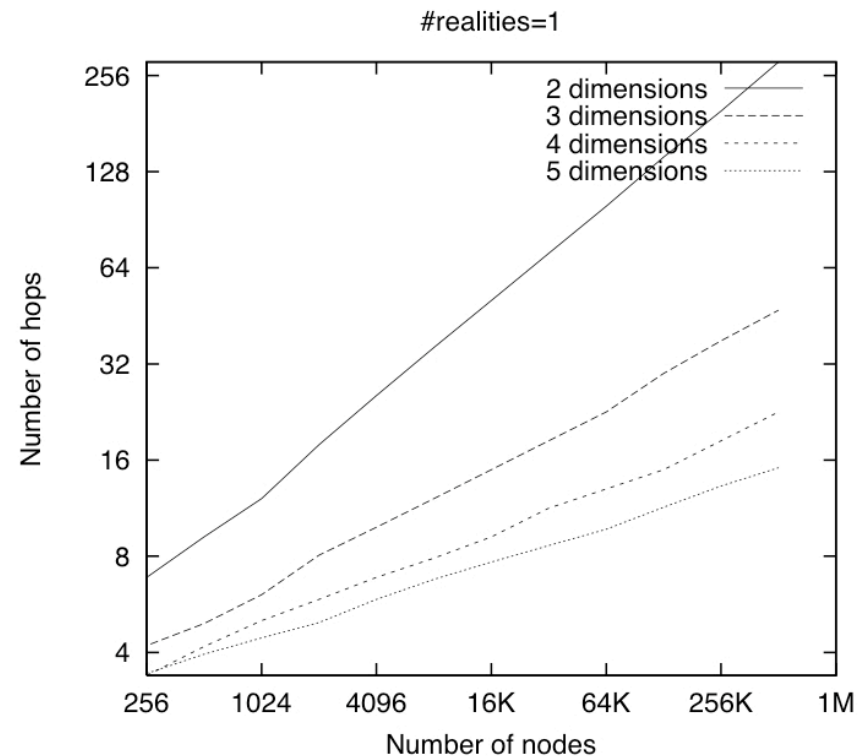
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Institut für Informatik  
Rechnernetze und Telematik  
Prof. Dr. Christian Schindelbauer

1. **Mehrdimensionale Räume**
2. **Verschiedene Realitäten**
3. **Abstandsmetrik für Routing**
4. **Überladen der Zonen**
5. **Mehrfaches Hashing**
6. **Topologie-angepasste Netzwerkkonstruktion**
7. **Gleichmäßigere Partitionierung**
8. **Caching, Replikation und Hot-Spot-Management**



# Mehrdimensionale Räume

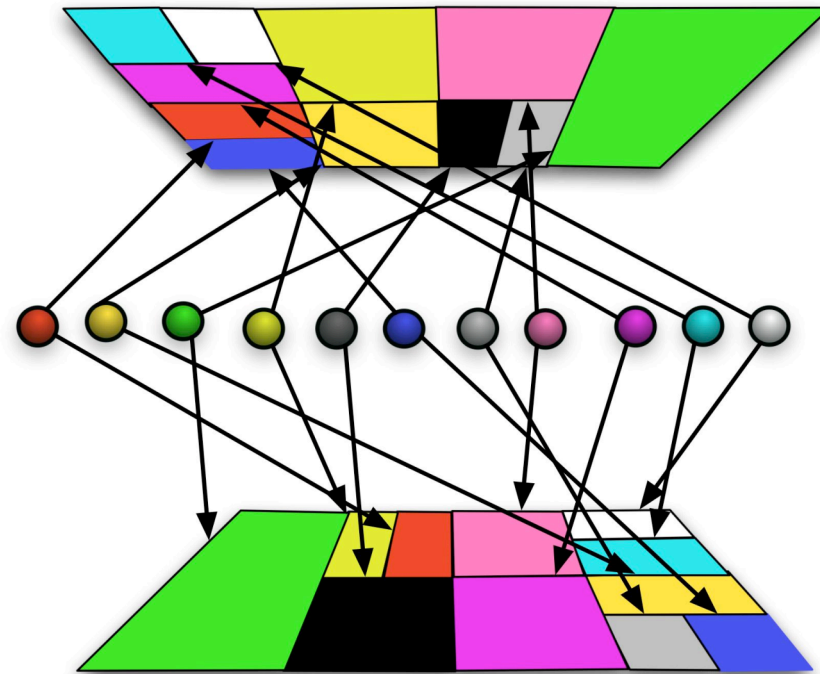
- **D-dimensionaler Raum (statt 2-D)**
  - 1: Linie
  - 2: Quadrat
  - 3: Würfel
  - ...
- **Die erwartete Pfadlänge bei d Dimensionen ist  $O(n^{1/d})$**
- **Erwartete Anzahl von Nachbarn  $O(d)$**





# Mehrere Realitäten

- **Simultan werden  $r$  CAN-Netzwerke aufgebaut**
- **Jedes CAN-Netzwerk wird Realität genannt**
- **Auf der Suche nach einem Feld**
  - springt man zwischen den Realitäten
  - wählt man die Realität, in welcher der Abstand zum Ziel am geringsten ist
- **Vorteile**
  - Hohe Robustheit

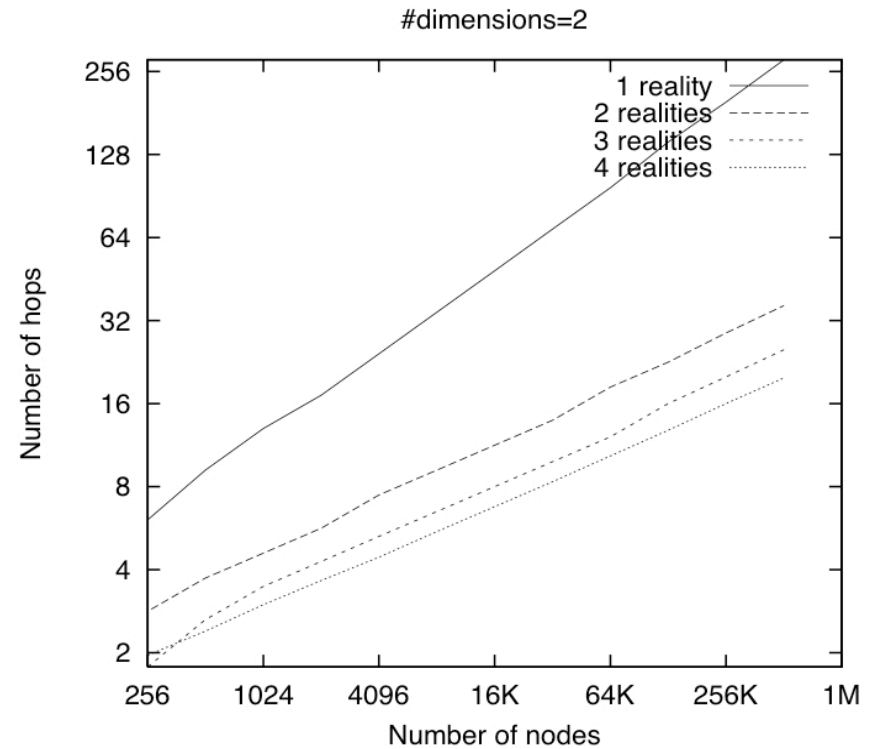




# Mehrere Realitäten

## ➤ Vorteile

- Hohe Robustheit
- Kürzere Wege

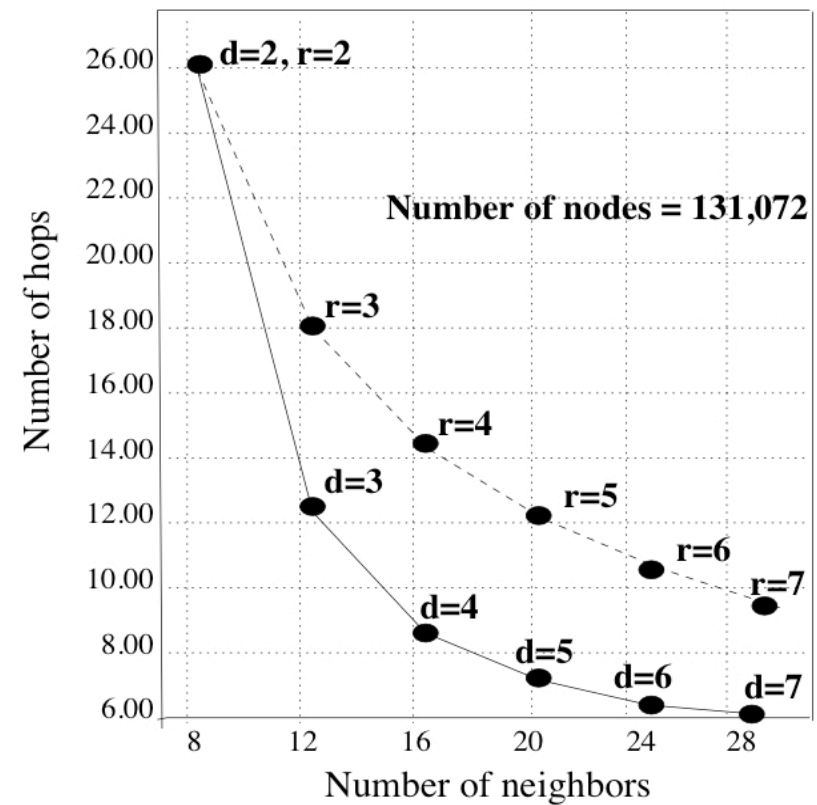




# Realitäten versus Dimensionen

- Dimensionen verkürzen die Wege besser
- Realitäten erzeugen robustere Netzwerke

- ————— increasing dimensions, #realities=2
- - - - - - increasing realities, #dimensions=2



# *Ende der*

# *8. Vorlesung*



Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Rechnernetze und Telematik  
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

Peer-to-Peer-Netzwerke  
Christian Schindelhauer  
[schindel@informatik.uni-freiburg.de](mailto:schindel@informatik.uni-freiburg.de)