# Einführung in Peer-to-Peer Netzwerke

- Die Geschichte von Peer-to-Peer
- Die Natur von Peer-to-Peer: Paradigmen
- Unstrukturierte Peer-to-Peer Systeme
- Strukturierte Peer-to-Peer Systeme

*A Peer-to-Peer system is a self-organizing system of equal, autonomous entities (peers) which aims for the shared usage of distributed resources in a networked environment avoiding central services.*

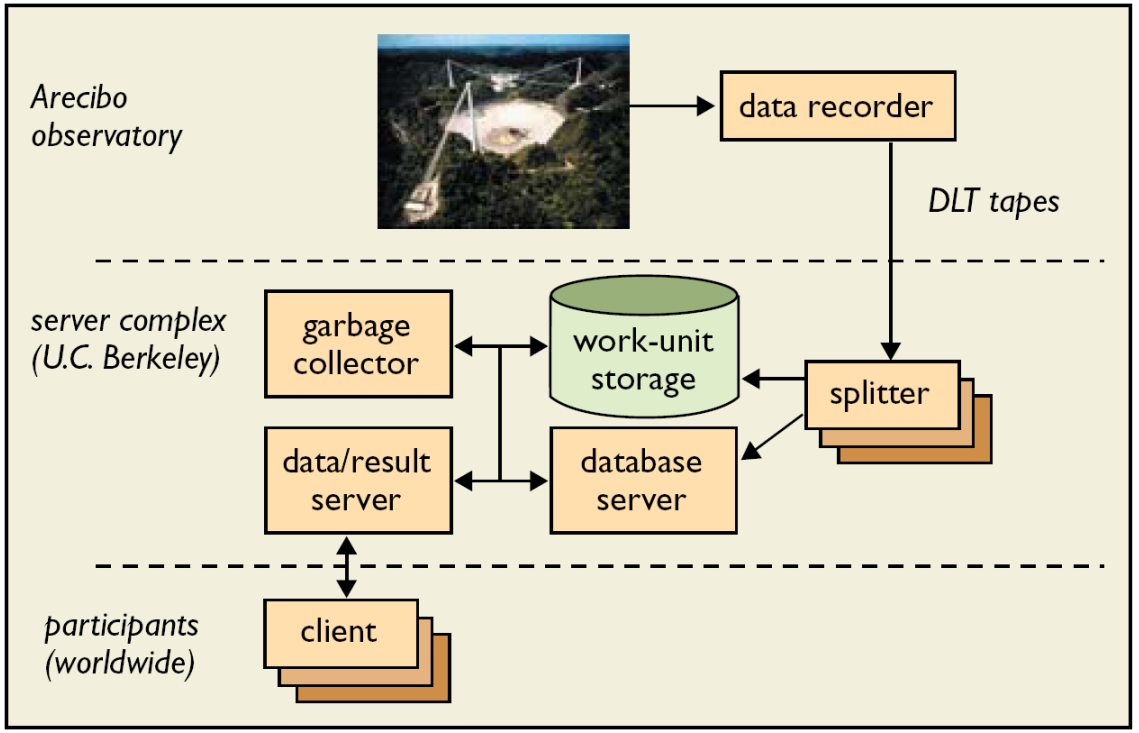
Andy Oram

# Die alte Zeit

- NetNews (nntp)
  - Usenet seit 1979, anfänglich realisiert durch UUCP
  - Austausch (Replikation) von abonnierten News Artikeln
  - Gruppenerzeugung und Löschung dezentral
- DNS
  - Verteilte Delegation von Namenshoheiten:
    file sharing der host Tabellen
  - Name "Servers" sind Peers
  - Hierarchischer Informationsraum erlaubt exponentielles Wachstum
- Systeme sind manuell konfigurierte verteilte Peers

# SETI@home: Verteiltes Rechnen

- Search for Extraterrestrial Intelligence (SETI)
- Analysiert Funksignale aus dem All
- Global geteilte Rechenressource
- Idee 1995
- Erste Version 1998
- 2002 ≈ 4 Mio clnts
- Z.B. Screensaver
- http://setiathome.berkeley.edu/ - läuft weiter




From Anderson et. al.: *SETI@home*, Comm. ACM, 45 (11), Nov. 2002

# Napster


- Mai 1999: Aufrütteln der Internet Gemeinde, die erste Generation von File Sharing: Napster
  - Anwender laden nicht nur Daten, sondern offerieren selber
  - Teilnehmer etablieren ein virtuelles Netzwerk, vollständig unabhängig von physikalischem Netzwerk und administrativen Autoritäten oder Beschränkungen
  - Basis: UDP und TCP Kanäle zwischen Peers
- Napster steuert zentralisiertes Indexing bei
  - Clients laden ihre Dateilist auf Napster Server
  - Clients befragen Index Server erhalten vollständige Anbieterliste
- Datenaustausch unmittelbar zwischen Peers

# Napster

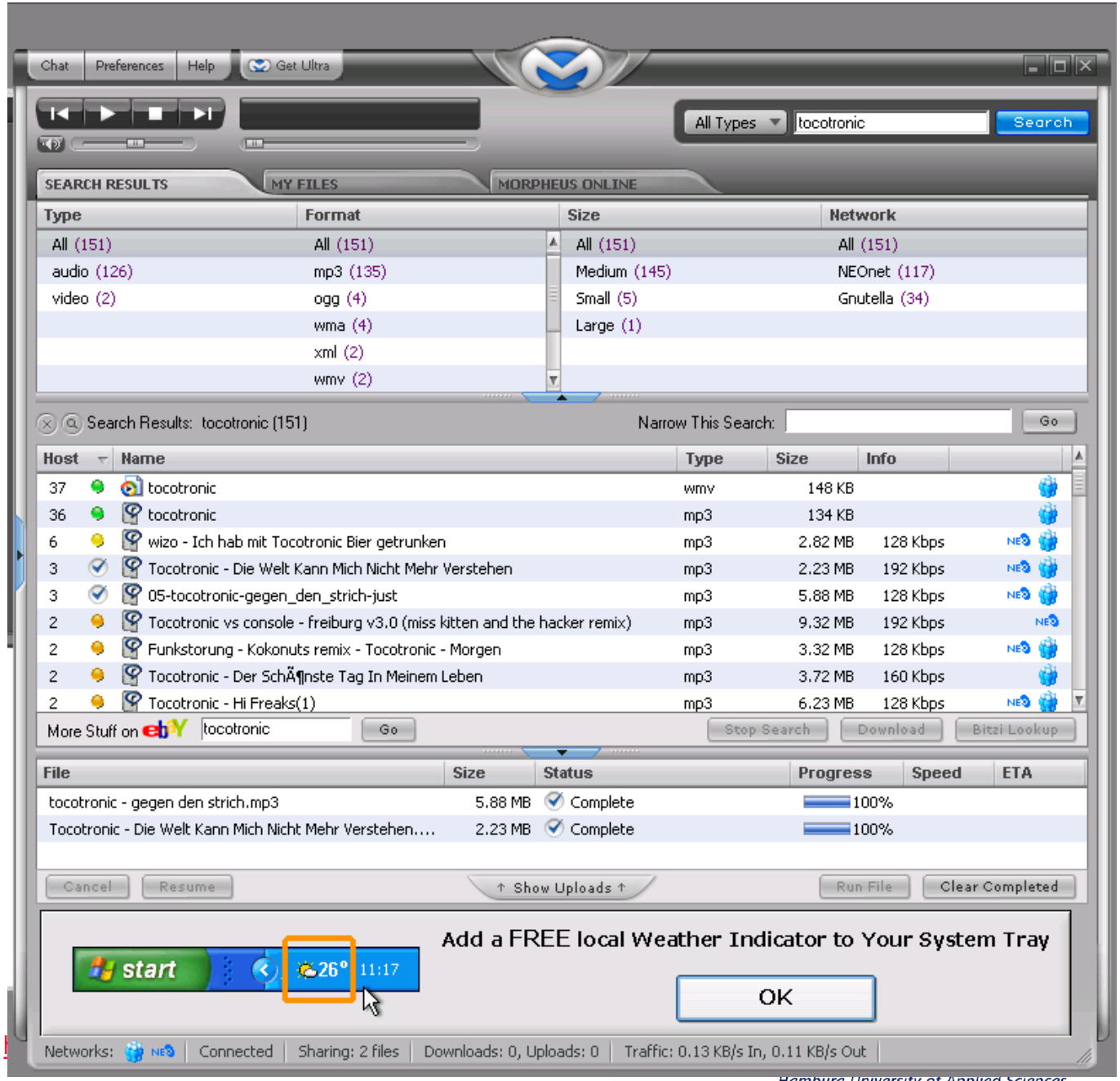
- Dezember 1999: RIAA klagt gegen Napster Inc.
- März 2000: University of Wisconsin identifiziert 25 % ihres IP Verkehrs als Napster Daten
- Februar 2001: 2.79 Milliarden Files werden pro Monat via Napster getauscht
- July 2001: Napster Inc. wird verurteilt
  - Angriffspunkt der RIAA: der zentrale Indexserver von Napster
  - Napster muss dessen Betrieb einstellen
  - Napster Netzwerk bricht zusammen
- Napster hat (technisch & rechtlich) an seinem Single Point of Failure versagt.

# Gnutella

- Völlig de-zentralisiertes File Sharing
- Open source software
- März 2000:

  Release 0.4 – basiert auf Netzwerkfluten
- Baldiger Zu-sammenbruch
- Frühjahr 2001:

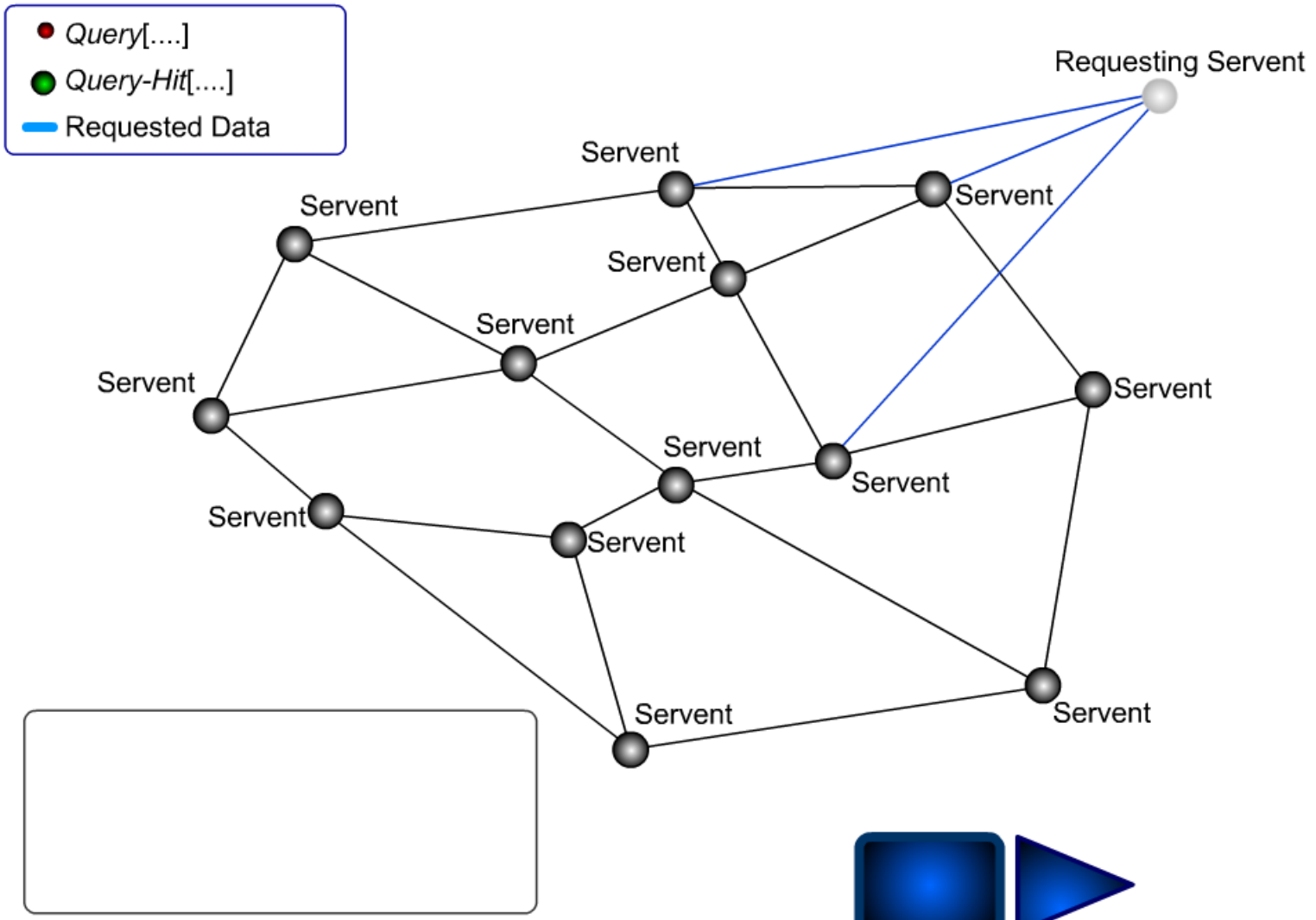
  Release 0.6 – erhöhte Skalierbarkeit



# Gnutella 0.4


- Reines P2P System – kein zentraler Indexing Server
- Operationen:
  1. Verbinde mit einem aktiven Peer (Addressfindung beim Bootstrap)
  2. Erkunde Nachbarschaft (PING/PONG)
  3. Setze Query einer Liste von Schlüsselworten an die Nachbarn ab (diese leiten weiter)
  4. Suche "beste" der richtigen Anworten (die nach einer Weile eintrudeln)
  5. Verbinde mit anbietendem Peer
- Skalierungsprobleme durch Netzwerkfluten
- Suchen können irrtümlich erfolglos sein

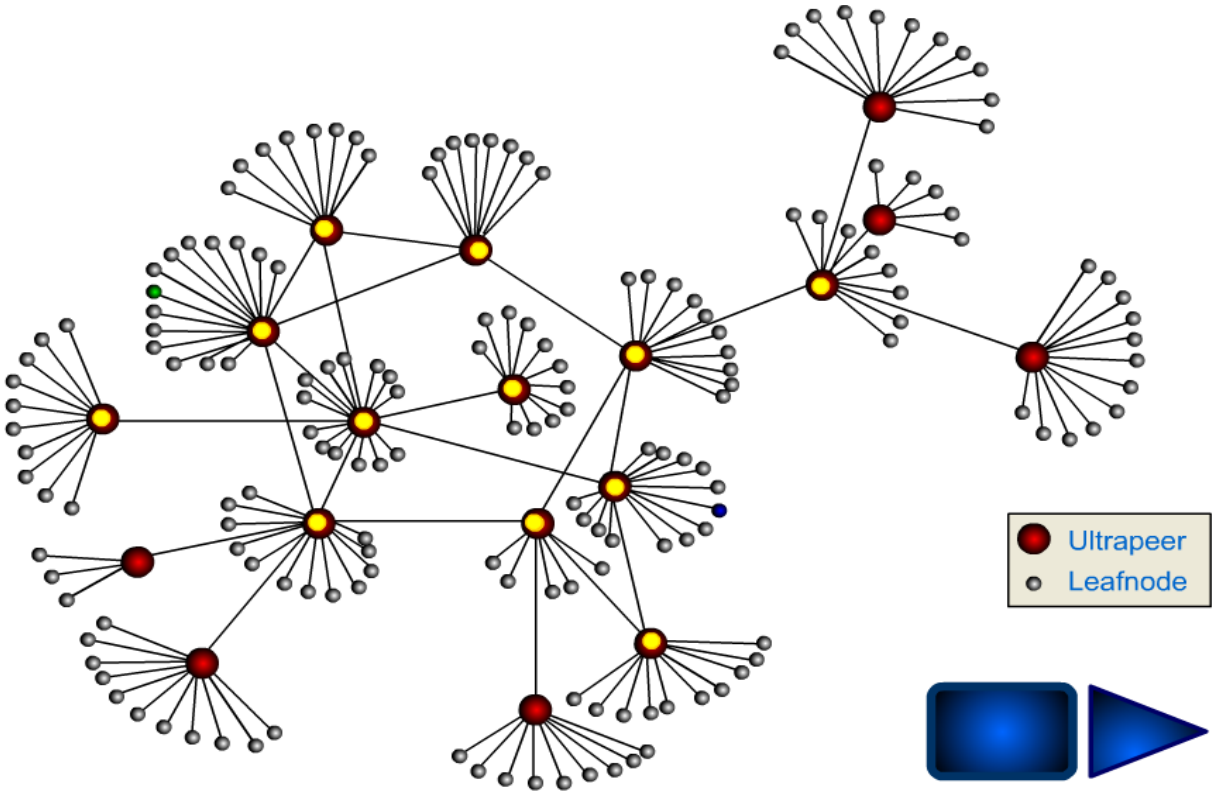
# Gnutella 0.4: Arbeitsweise



# Gnutella 0.6


- Hybrides P2P System – Einführung von Superpeers
- Erhöhte Skalierbarkeit: Signalisierung wird auf Superpeers beschränkt
- Wahlmechanismus entscheidet über die Auszeichnung als Superpeer oder Leafnode (abhängig von Knotenkapazitäten, Netzwerkkonnektivität, Lebenszeit, …)
- Leafnodes annoncieren ihr Inhaltsangebot zu ihrem Superpeer
- Superpeers halten lokale Routingtabellen

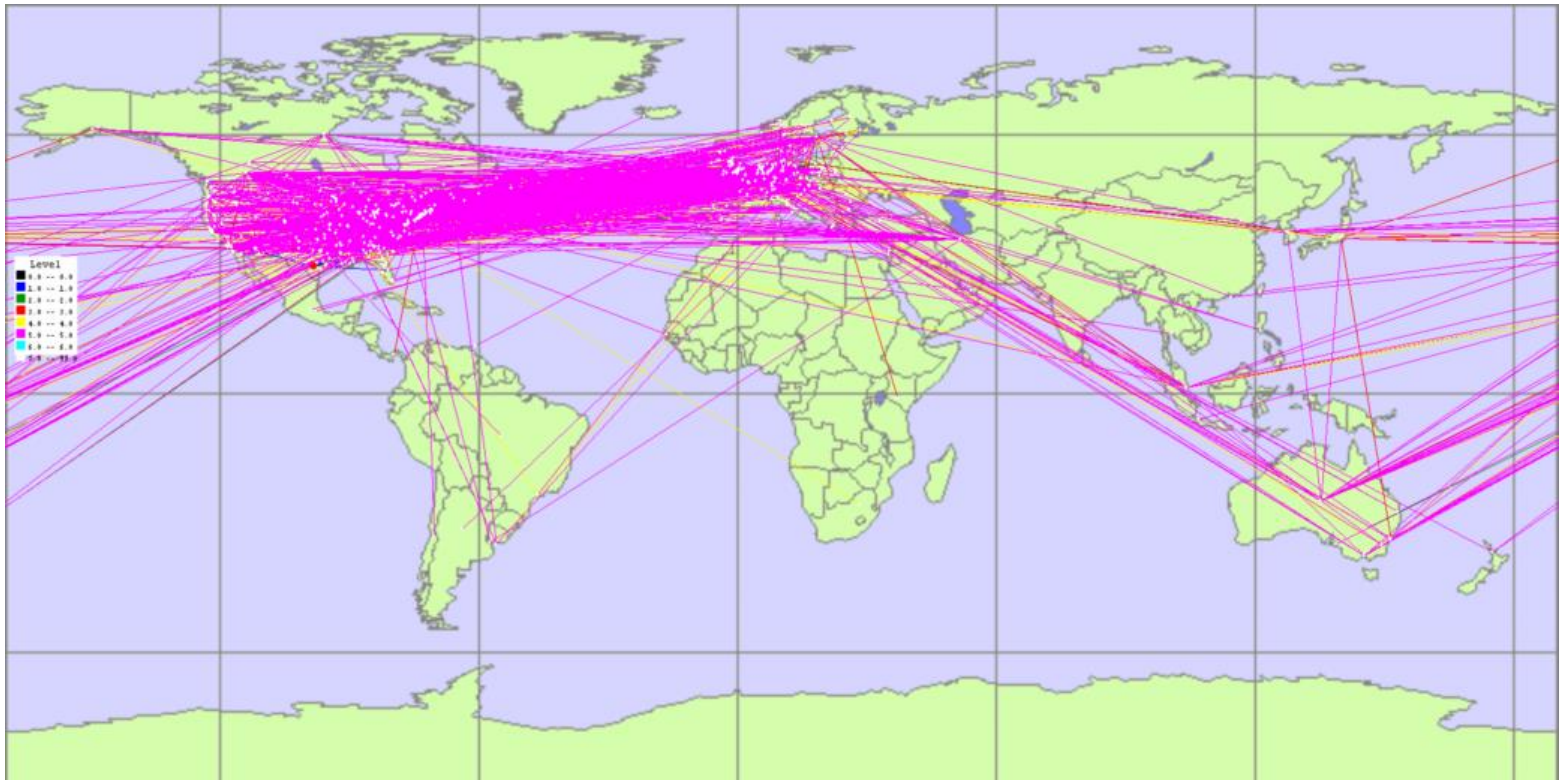
# Gnutella 0.6: How Does It Work




From
J.

CS 3485

# Das Gnutella Netzwerk



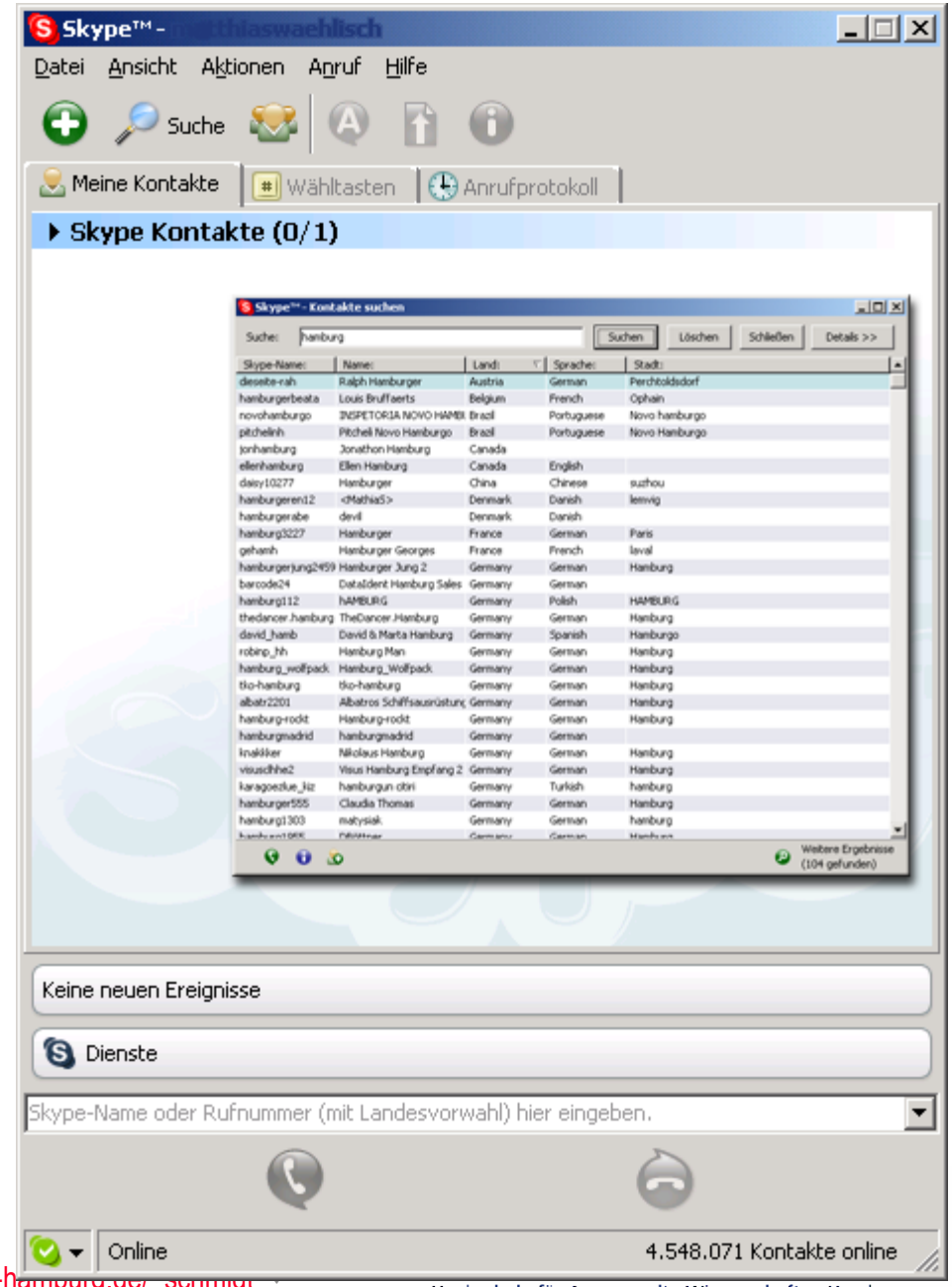
Measurements from May 2002

From:

J. Eberspächer, R. Schollmeier: *First and Second Generation Peer-to-Peer Systems*, in LNCS 3485

# Skype

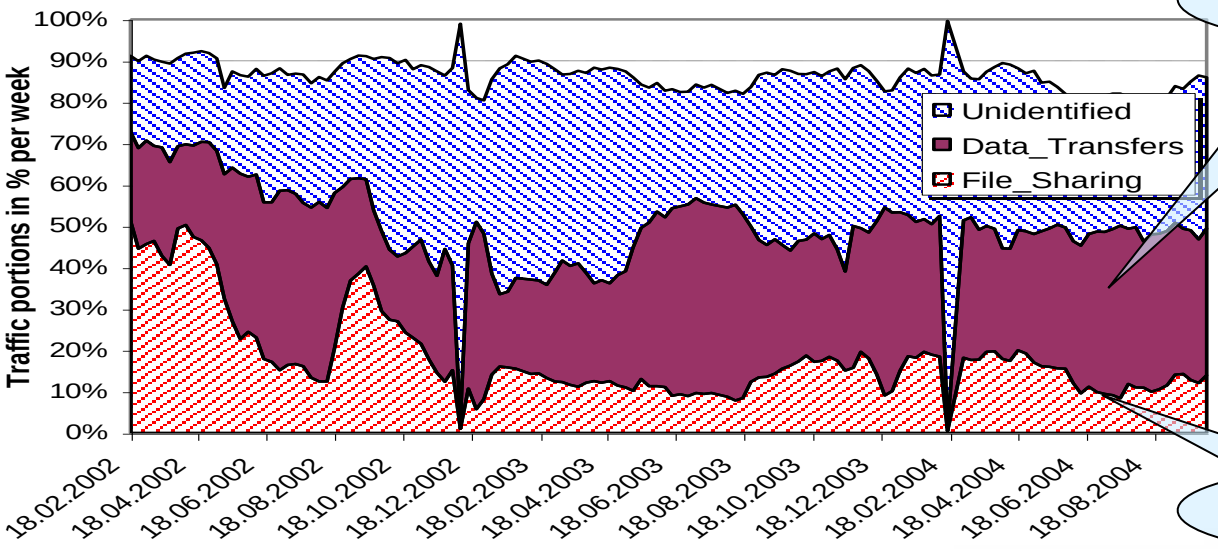
- VoIP Konferenzsystem
- Release 2003
- Zentraler Login-Server
- Sonst hybrides P2P System
- Kernfunktionen:
  - Teilnehmerlokalisierung
  - Traversierung von NAT & Firewalls (STUN)
- Wählt Superpeers nach Netzwerkkonnektivität
- Nutzt Superpeers als Relays



# Einfluss von P2P auf das Abilene Backbone

- Unidentified + data_transfers + file_sharing verursacht 90% des datenverkehrs
- Unidentified traffic + data_transfers wächst signifikant
  - Teile von P2P-Daten bleiben verborgen (port hopping,…)
  - Einige P2P Applikationen nutzen Port 80 → data_transfers

Core of Internet2 infrastructure, connecting 190 US universities and research centers



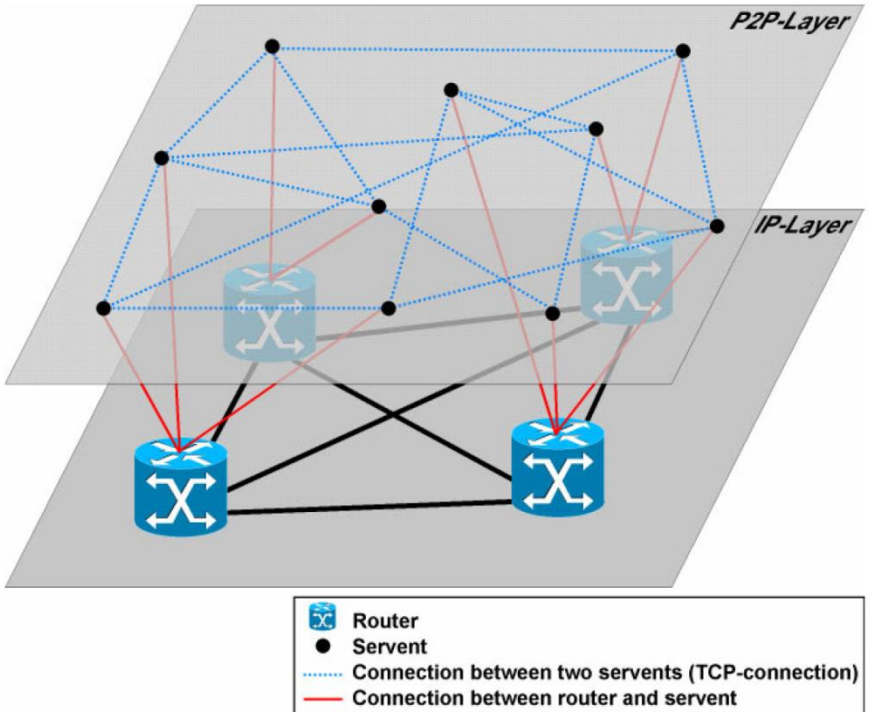

Possible data transfers

Only Signaling

Data source: http://netflow.internet2.edu/weekly/

# Die Natur von P2P

- P2P Netzwerke  bilden ein Overlay der Netzwerk Infrastruktur
- Sind auf der Anwendungs-schicht implementiert
- Die Overlay Topologie bildet ein virtuelles Signalisierungs-netzwerk via TCP Verbindungen
- Peers sind Inhaltsanbieter
  + Inhaltskonsumenten
  + Router im Overlay Netzwerk
- Adressen: Eindeutige IDs



# P2P im Paradigma verteilter Systeme

- Koordination zwischen gleichen Komponenten
- Dezentralisiert & selbstorganisierend
- Unabhängig von individuellen Peers
- Skalierbar in extremem Maße
- Hohe Dynamik durch volatile Teilnehmer
- Geschützt gegen Fehler der Infrastruktur und Teilnehmer
- Anreizgesteuert statt kontrolliert

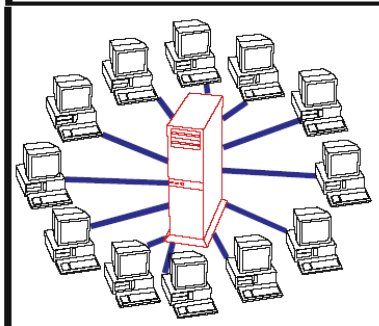
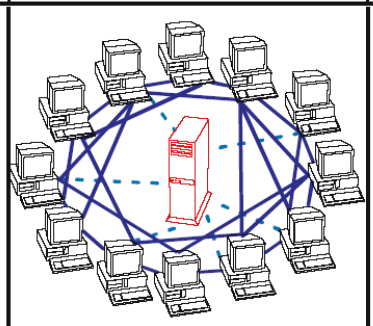
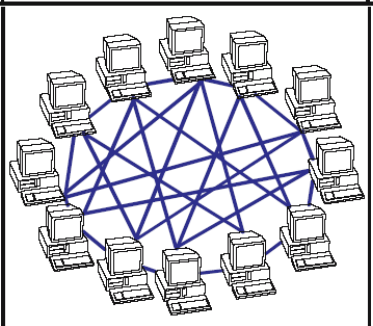
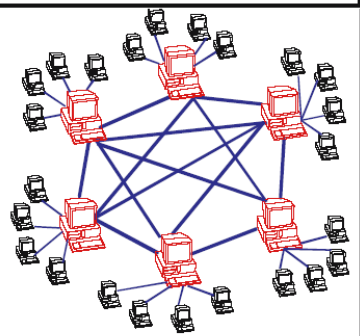
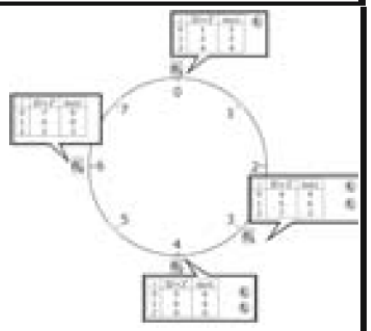
# P2P im Paradigma des Internetworking

- Lose, zustandsfreie Koppelung zwischen Peers
- Serverlos & ohne infrastrukturelle Entitäten
- Dynamische Adaptation an die Netzwerk Infrastruktur
- Überwindung von NATs und Portbarrieren
- Client-Server reduziert auf die Kommunikations-schnittstelle, kein Anwendungsparadigma mehr
- "Back to the Internet roots":
  - Freiheit von Information
  - Freiheit der Skala

Aber auch: Freiheit von der Internet Infrastruktur & Regulierung

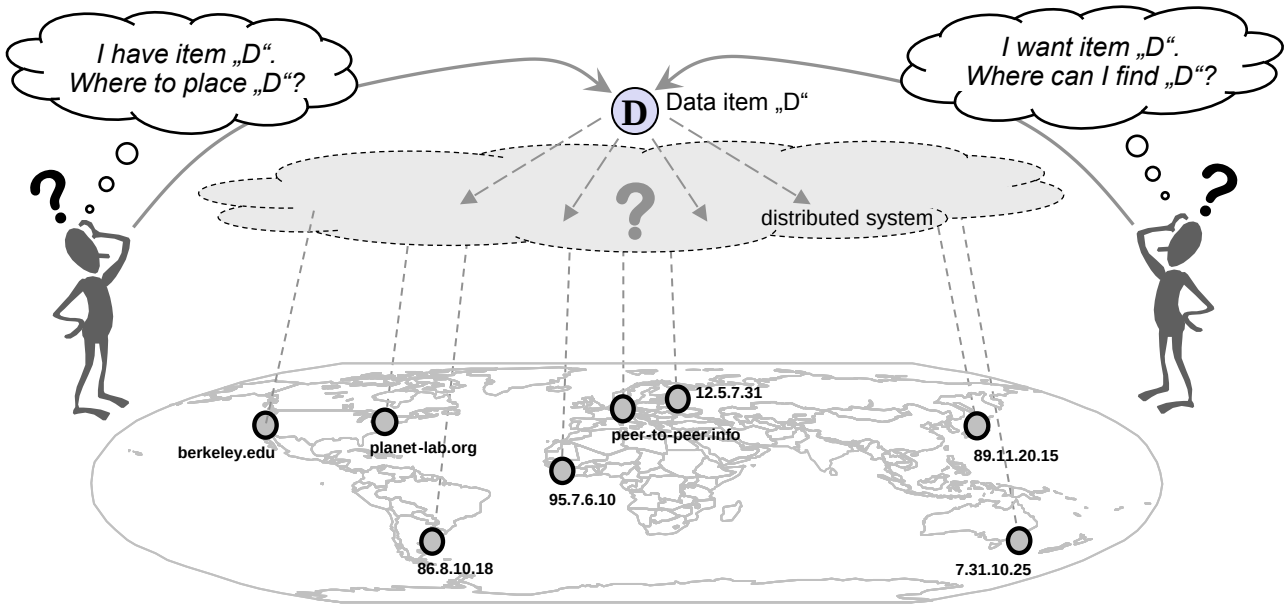
# P2P Anwendungsgebiete

- File sharing
- Medienkonferenzen
- Resource Sharing: Grids
- Kollaborative Groupware
- Verteilte Spiele
- Inhaltsbasierte Netze: z.B. Semantische Netze
- Geschäftsanwendungen: z.B. “Market Management”
- Ubiquitous Computing: z.B. Vehicular Communication
- …

| Client-Server | Peer-to-Peer | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1. Resources are shared between the peers<br>2. Resources can be accessed directly from other peers<br>3. Peer is provider and requestor (Servent concept) | | | |
| | Unstructured P2P | | | Structured P2P |
| | 1st Generation | | 2nd Generation | |
| 1. Server is the central entity and only provider of service and content.<br>→ Network managed by the Server<br>2. Server as the higher performance system.<br>3. Clients as the lower performance system<br><br>Example: WWW | *Centralized P2P*<br>1. All features of Peer-to-Peer included<br>2. Central entity is necessary to provide the service<br>3. Central entity is some kind of index/group database<br>Example: Napster | *Pure P2P*<br>1. All features of Peer-to-Peer included<br>2. Any terminal entity can be removed without loss of functionality<br>3. → No central entities<br>Examples: Gnutella 0.4, Freenet | *Hybrid P2P*<br>1. All features of Peer-to-Peer included<br>2. Any terminal entity can be removed without loss of functionality<br>3. → dynamic central entities<br>Example: Gnutella 0.6, JXTA | *DHT-Based*<br>1. All features of Peer-to-Peer included<br>2. Any terminal entity can be removed without loss of functionality<br>3. → No central entities<br>4. Connections in the overlay are "fixed"<br>Examples: Chord, CAN |
|  |  |  |  |  |

From: J. Eberspächer, R. Schollmeier: *First and Second Generation Peer-to-Peer Systems*, in LNCS 3485

# Herausforderungen in Peer-to-Peer Systemen




- Ressourcenlokalisierung der zwischen Systemen verteilten Daten
  - Wo sollen meine Daten gespeichert/registriert werden?
  - Wie findet ein Suchender diese auf?
- Skalierbarkeit: Beschränke die Komplexität von Kommunikation und Speicher
- Robustheit und Korrektur bei Fehlern und häufigen Wechseln

# Unstrukturierte P2Ps - Resümee

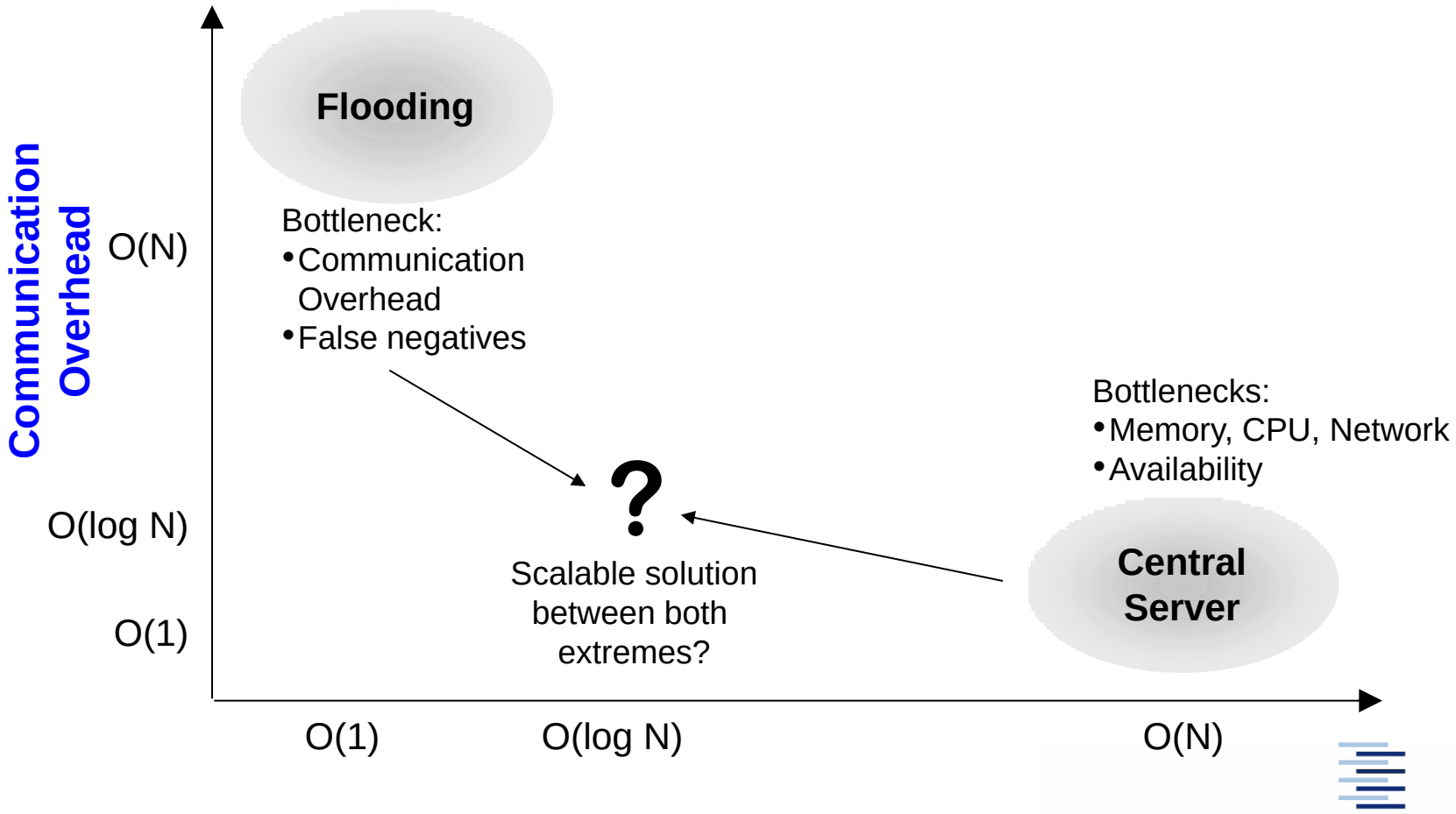
Zwei Strukturansätze:

- Zentralisiert
  - Einfache, flexible Suche auf Server (O(1))
  - Single point of failure, O(N) Serverzustände
- Dezentralisiertes Fluten
  - Fehlertolerant, O(1) Knotenzustände
  - Kommunikationsaufwand ≥ $O(N^2)$, Suchen teilweise erfolglos

Aber:

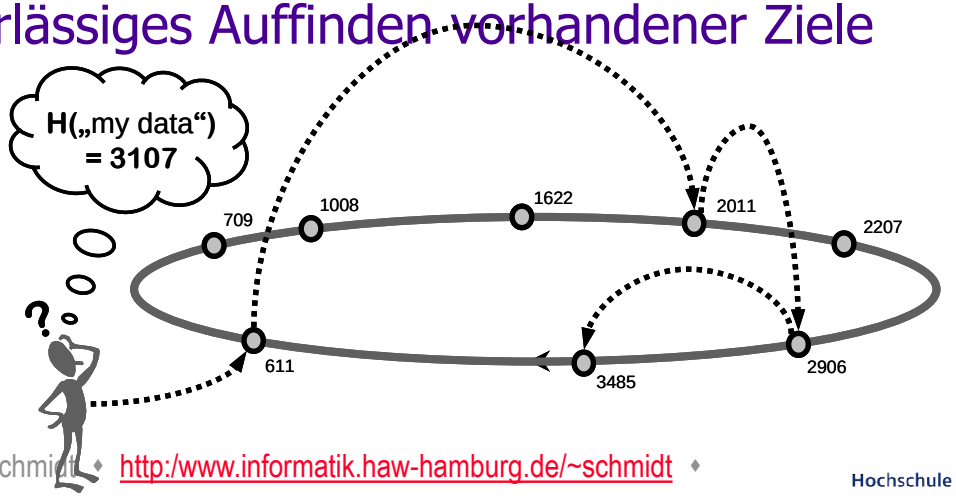
- Es gibt keine Referenzstruktur zwischen den Knoten

# Unstrukturierte P2P: Komplexitäten



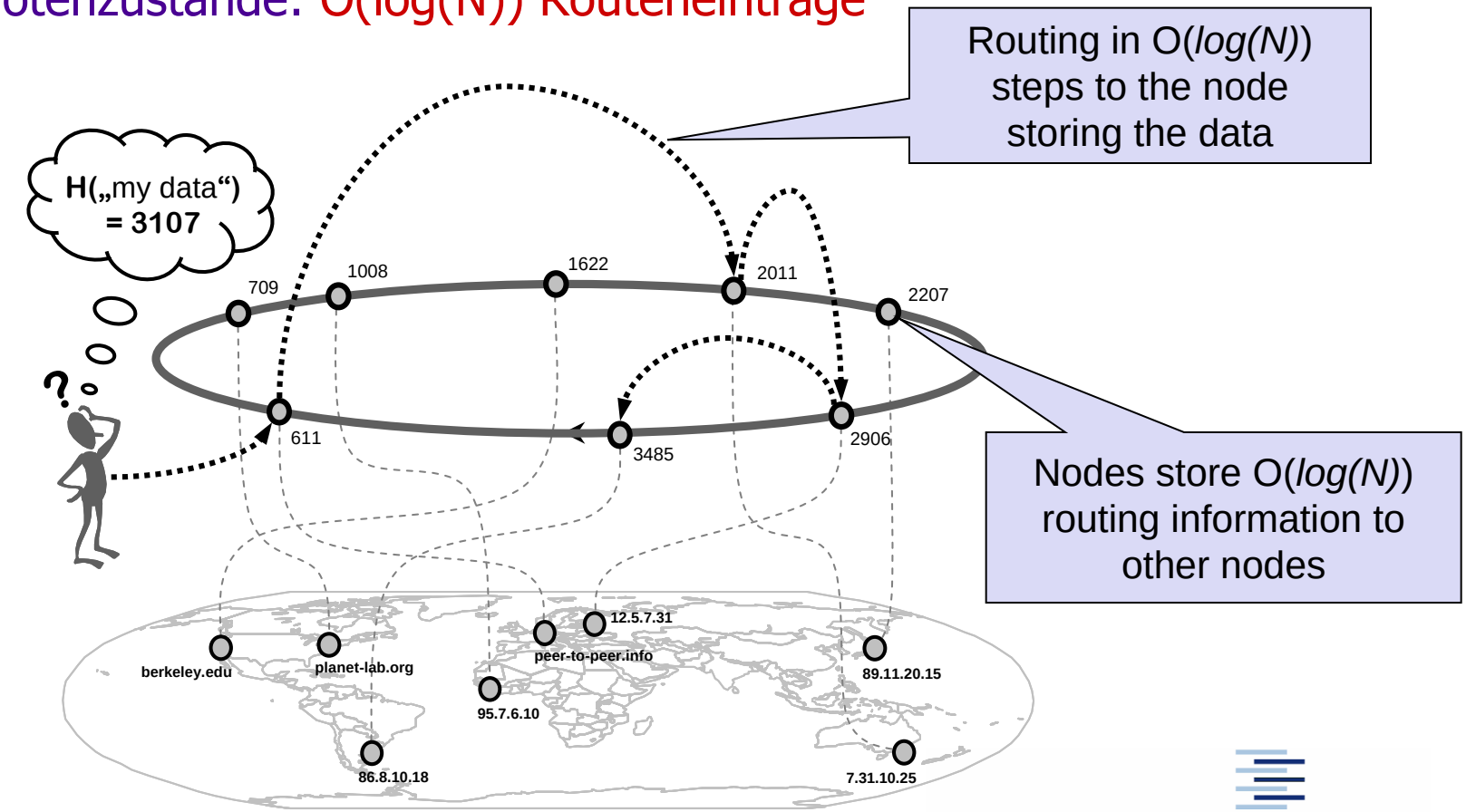
# Idee: Verteilte Indexierung

- Ursprüngliche Ideen für verteilten gemeinsamen Speicher (1987 ff.)
- Knoten werden in einem Adressraum strukturiert
- Daten werden in den selben Adressraum abgebildet
- Zwischenknoten erhalten Routing-Informationen über Zielknoten
  - Effizientes Auffinden der Ziele
  - Zuverlässiges Auffinden vorhandener Ziele

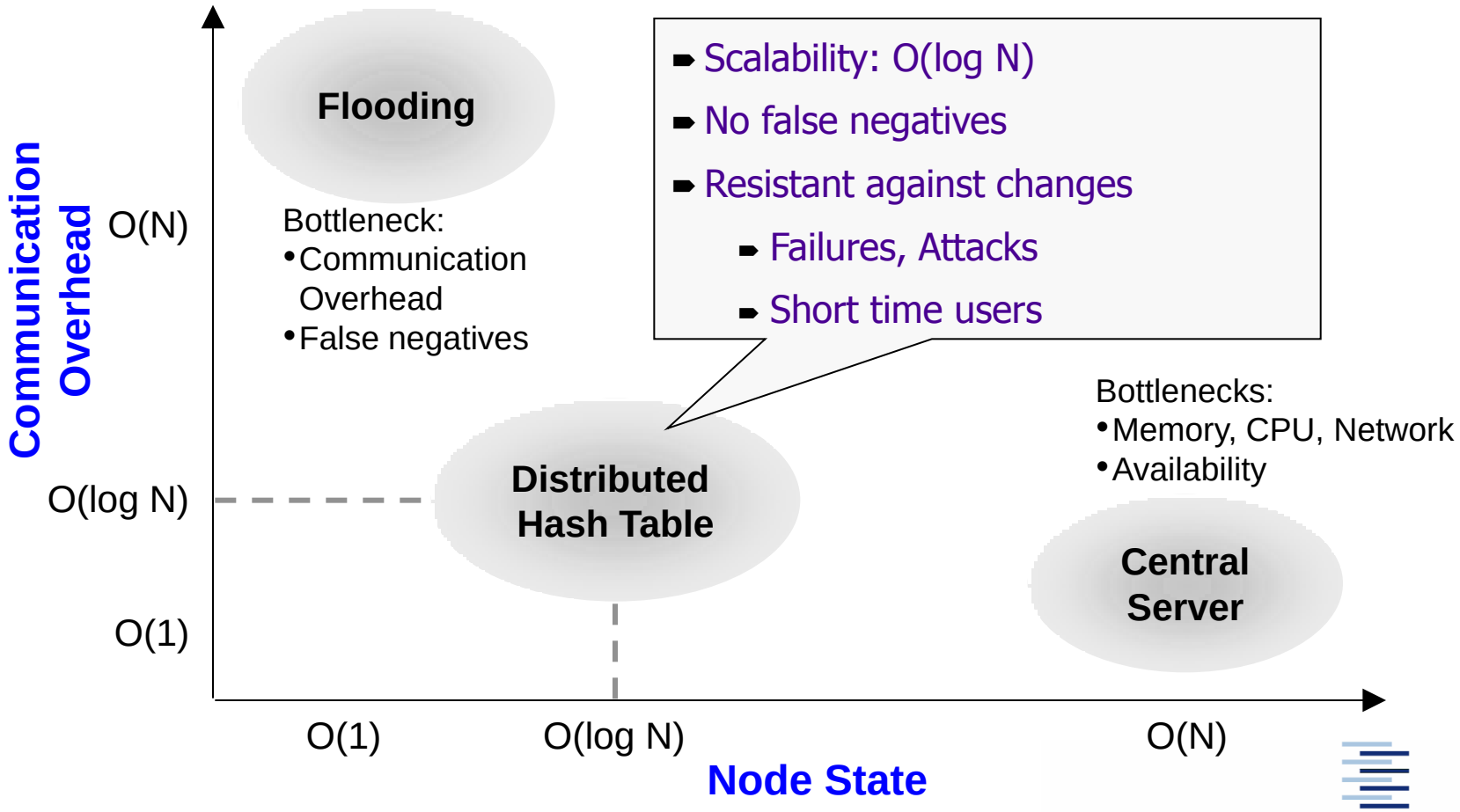


# Skalierbarkeit verteilter Indexierung

- Kommunikationsaufwand: O(log(N)) Hops
- Knotenzustände: O(log(N)) Routeneinträge



# Verteilte Indexierung: Komplexitäten



# Grundlagen verteilter Hash Tabellen – Distributed Hash Tables (DHTs)

- Gewünschte Eigenschaften:
  Flexibilität, Zuverlässigkeit, Skalierbarkeit
- Designherausforderungen für DHTs:
  - Gleichverteilung der Inhalte auf die Knoten
    - Kritisch für effiziente Inhaltsauffindung
  - Kontinuierliche Anpassung an Fehler, Joins, Exits
    - Zuweisung von Verantwortlichkeiten auf neue Knoten
    - Neuverteilung von Verantwortlichkeiten bei Knotenwegfall
  - Pflege der Routing Informationen

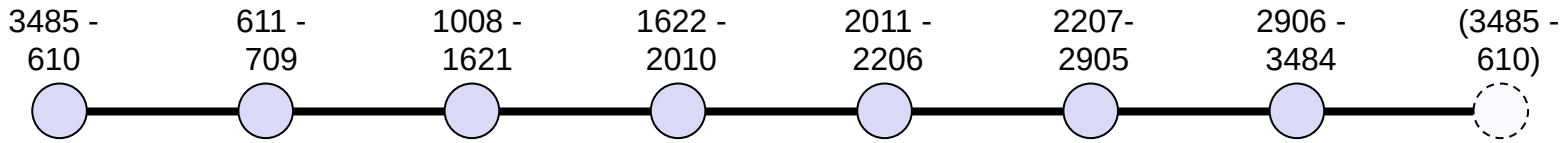
# Verteiltes Datenmanagement

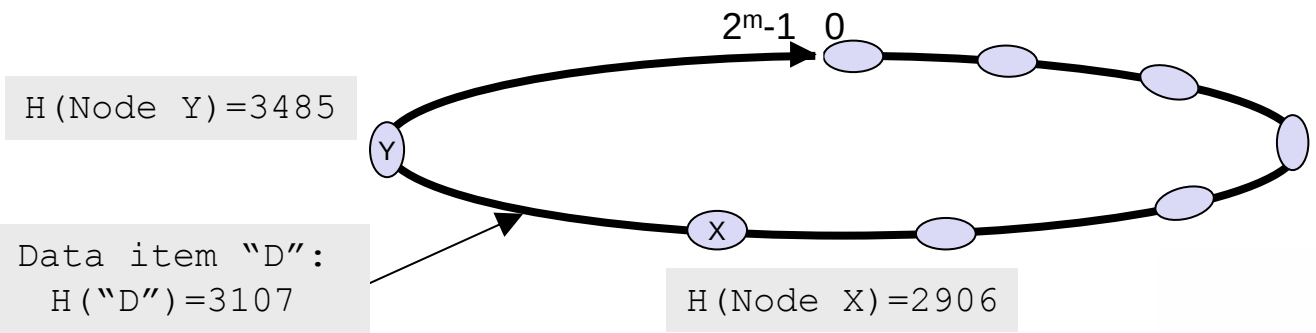
1. Abbildung der Knoten und Daten in den selben Adressraum
   - Peers und Inhalte nutzen flache Identifizierer (IDs)
   - Knoten verantwortlich für definierte Teile des Adressraums
   - Assoziation von Daten zu Knoten ändert sich, wenn Knoten verschwinden
2. Speichern / Auffinden von Daten in der DHT
   - Suche von Daten = Routing zu verantwortlichem Knoten
     - Verantwortlicher Knoten muss nicht vorab bekannt sein
     - Zuverlässige Aussage über die Verfügbarkeit von Daten

# Addressierung in verteilten Hash Tabellen

## Step 1: Abbildung von Inhalten/Knoten in linearen Adressraum

- Gewöhnlich: 0, …, $2^m$-1 ≫ Anzahl zu speichernder Objekte
- Adressabbildung per Hash Funktion
  - z.B. Hash(*String*) mod $2^m$: H(„*my data*“) → 2313
- Zuordnung von Adressbereichen zu DHT Knoten



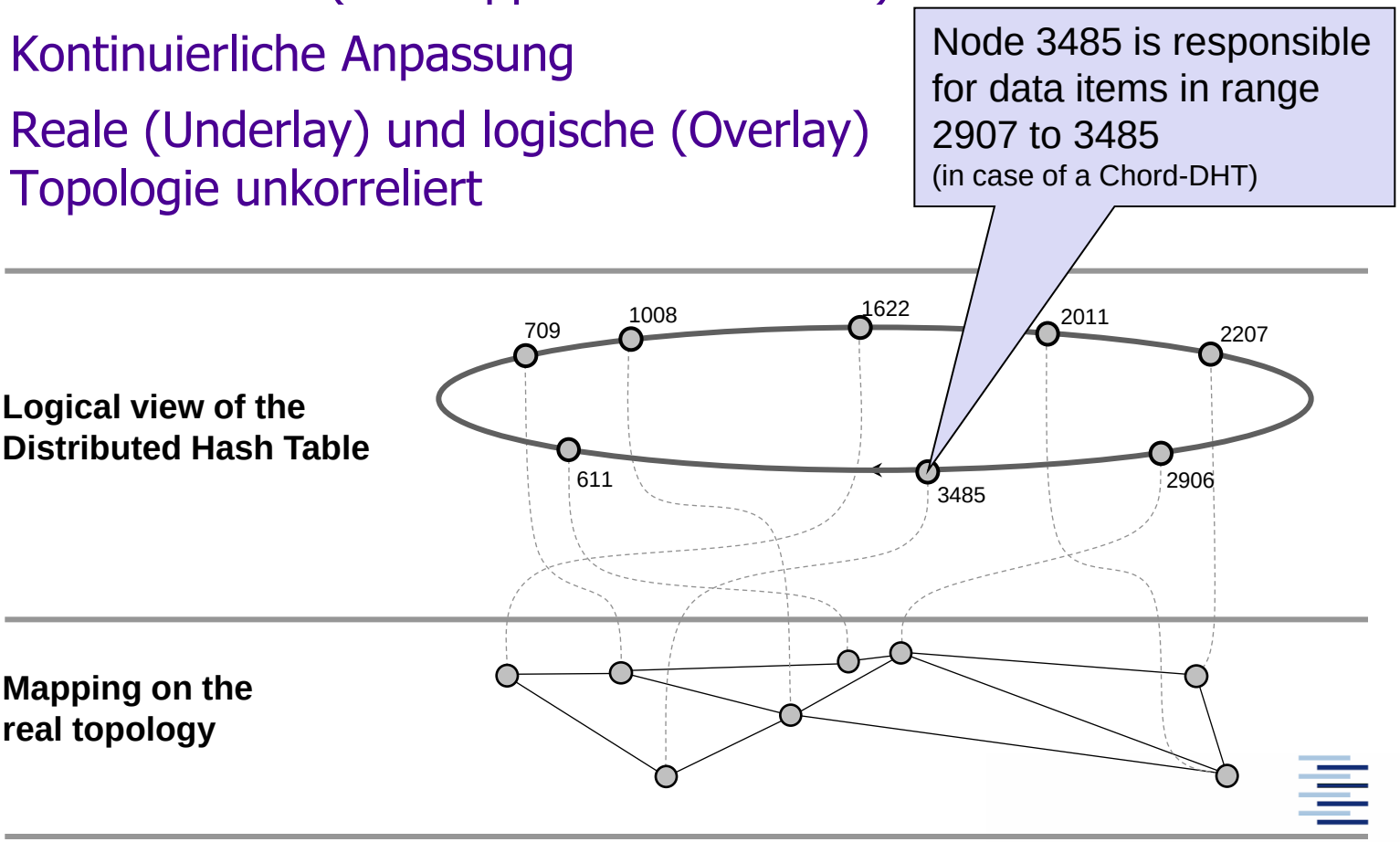




Often, the address space is viewed as a circle.

# Abbildung des Adressraums zu Knoten

## Jeder Knoten ist verantwortlich für Teil des Wertebereichs

- Oft redundant (Überlappen der Bereiche)
- Kontinuierliche Anpassung
- Reale (Underlay) und logische (Overlay) Topologie unkorreliert

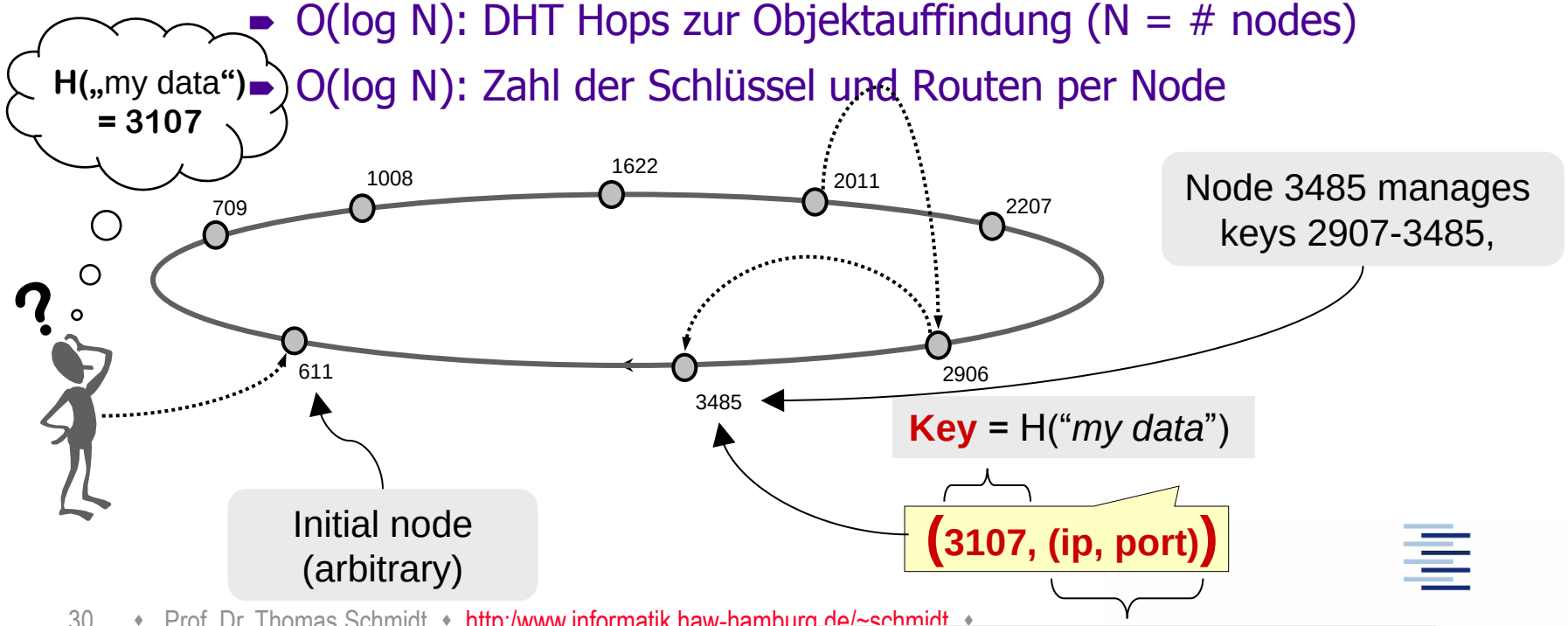


# Auffinden/Routen zu Daten

Step 2: Lokalisierung der Daten (content-based routing)

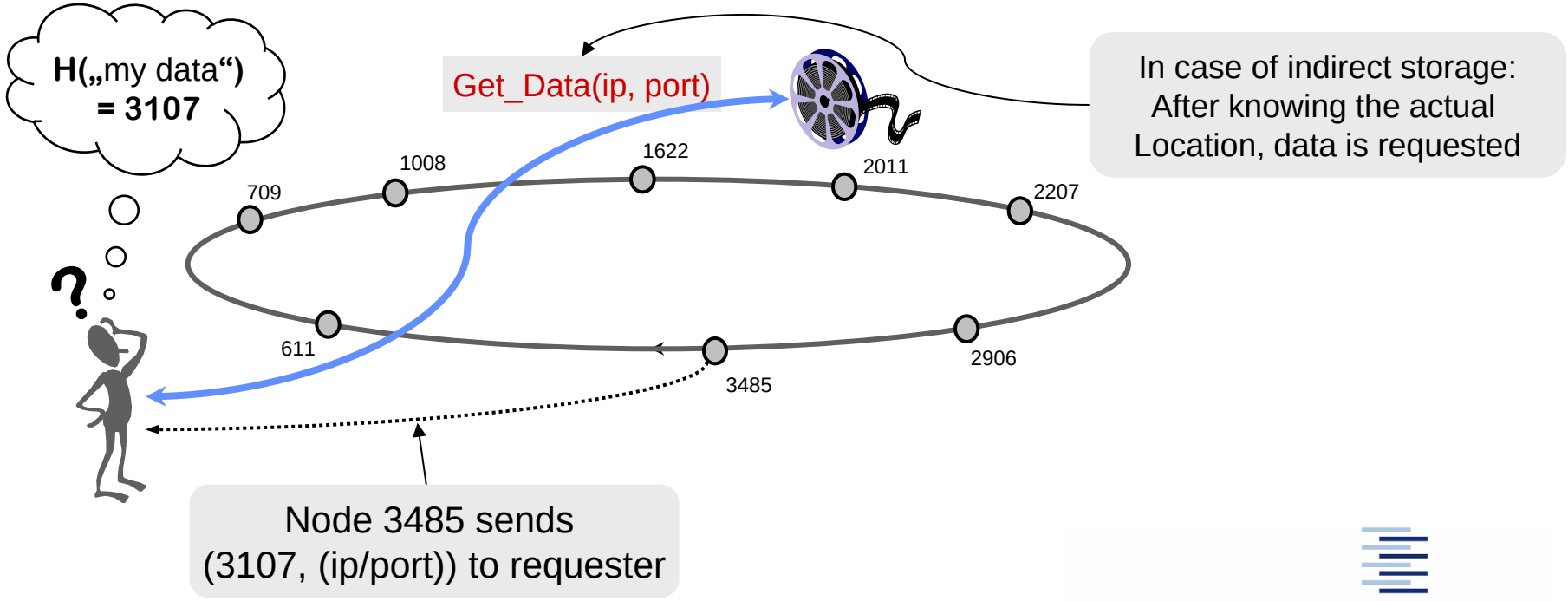
Ziel: Einfach, mit skalierbarem Aufwand

- O(1) mit zentraler Hash Tabelle
- Minimaler Overhead mit Distributed Hash Tables
  - O(log N): DHT Hops zur Objektauffindung (N = # nodes)
  - O(log N): Zahl der Schlüssel und Routen per Node



# Auffinden/Routen zu Daten (2)

- Zugriff auf Kontent
  - K/V-Paar wird an Suchenden zurückgegeben
  - Suchender analysiert K/V-Tupel
    (und lädt Daten von Speicherort – im indirekten Fall)



# DHT Algorithmen

- Lookup algorithm for nearby objects (Plaxton et al 1997)
  - Vor P2P … später in Tapestry genutzt
- Chord (Stoica et al 2001)
  - Unmittelbare Umsetzung einer 1-dim. DHT
- Pastry (Rowstron & Druschel 2001)
  - Entfernungsoptimierte Nachbarschaftswahl
- CAN (Ratnasamy et al 2001)
  - Routenoptimierung in multidimensionalem ID-Raum
- Kademlia (Maymounkov & Mazières 2002) …

# Chord: Überblick

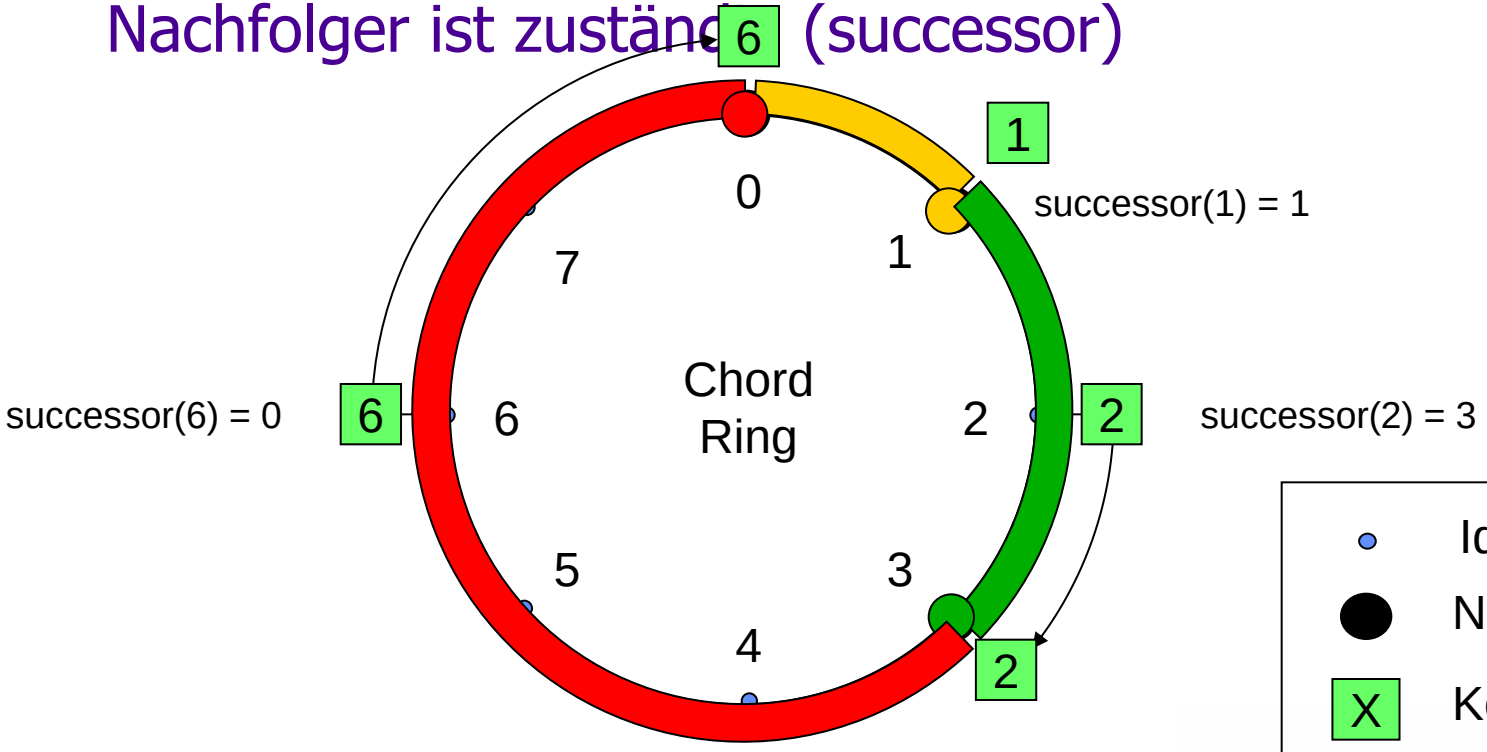
- Früher, erfolgreicher Algorithmus
- Simpel & elegant
  - einfach zu verstehen und zu implementieren
  - viele Erweiterungen und Optimierungen
- Kernaufgaben:
  - Routing
    - Logischer Adressraum: l-bit Identifiers statt IPs
    - Effizientes Routing: log(N) Hops
  - Selbstorganisation
    - Verarbeitung von Knoteneintritt, -austritt und -fehlern

# Chord: Topologie

- Hash-table Speicherung
  - put (key, value) fügt Daten in Chord ein
  - Value = get (key) ermittelt Daten aus Chord
- Identifizierer durch consistent hashing
  - Nutzt monotone, lastverteilende Hash Funktion
    - z.B. SHA-1, 160-bit output → 0 <= identifier < $2^{160}$
  - *Key* assoziiert mit Datenwert
    - z.B. key = sha-1(value)
  - *ID* assoziiert mit Host
    - z.B. id = sha-1 (IP address, port)

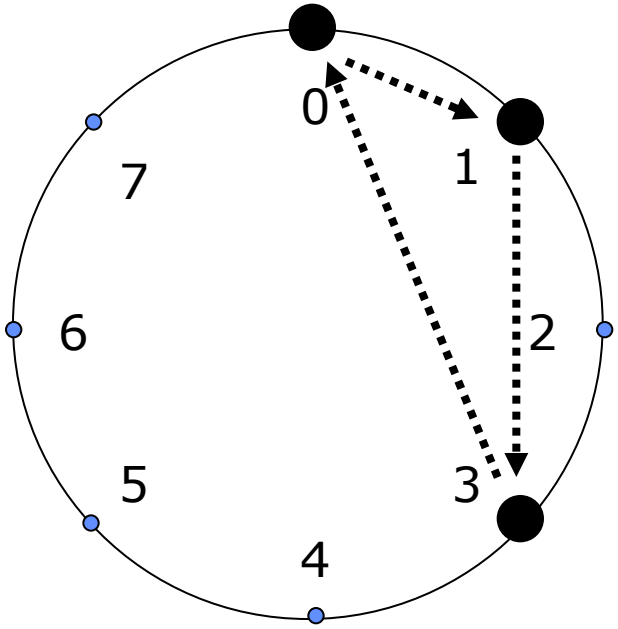
# Chord: Topologie

- Keys und IDs auf Ring, d.h. Arithmetik modulo $2^{160}$
- (key, value) Paare zugeordnet im Urzeigersinn: Nachfolger ist zuständig (successor)



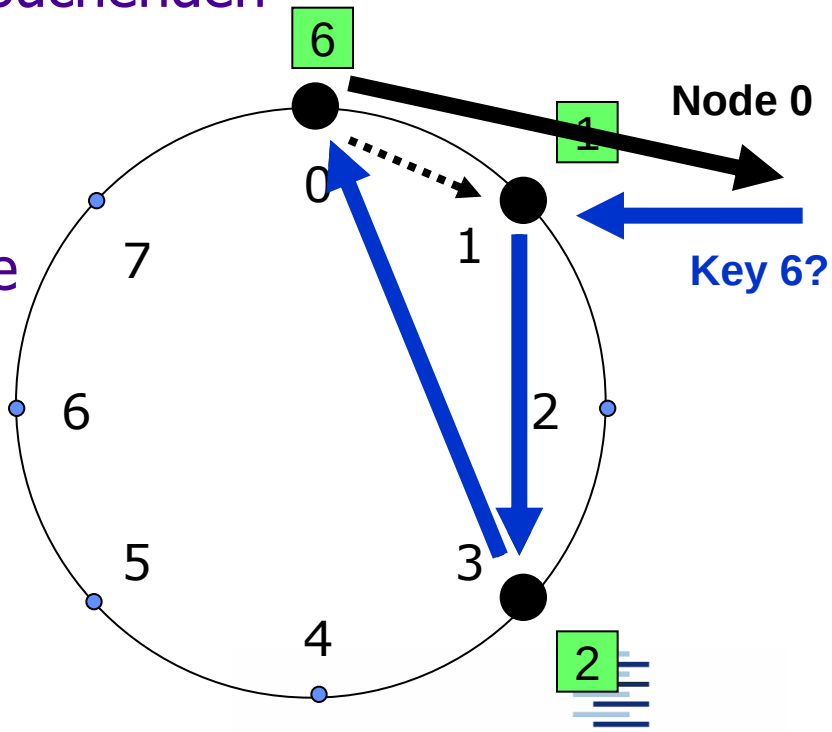
# Chord: Topologie

- Topologie bestimmt durch Links zwischen Knoten
  - Link: Wissen um Nachbarknoten
  - Gespeichert in Routing Tabelle
- Einfachste Topologie: kreisförmig verlinkte Liste
  - Jeder Knoten hat Verweis auf nächsten Knoten (im Uhrzeigersinn)




# Routing auf dem Ring ?

- Primitives Routing:
  - Schrittweise für key x bis successor(x) gefunden
  - Ergebnisrückgabe direkt an Suchenden
- Pros:
  - Einfach
  - Feste Anzahl Knotenzustände
- Cons:
  - Geringe Sucheffizienz: O(1/2 * N) durchschnittl. Hops (bei N Knoten)
  - Knotenausfall bricht Kreis



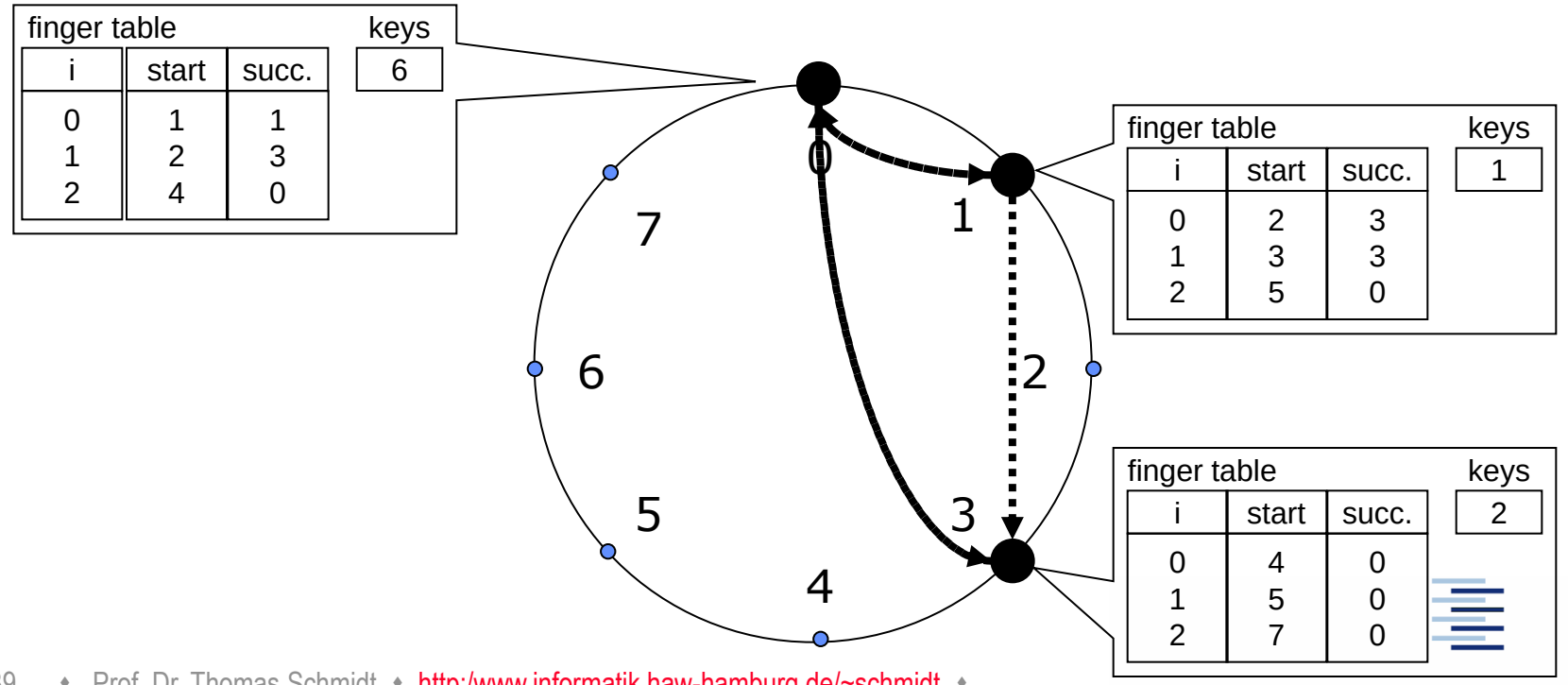
# Verbessertes Routing auf dem Ring ?

- Erweiterte Routeninformationen:
  - Speichere Links für z Nachbarn, leite Suche nach k zu weitesten bekannten Vorgänger von k
  - For z = N: vollständig vermaschtes Routing System
    - Lookup-Effizienz: O(1)
    - Knotenzustände: O(N)
  - Weiterhin geringe Skalierbarkeit durch lineare Zustandszahl
- Skalierbares Routing:
  - Mischung von nahen und fernen Links:
    - Akkurates Routing in Nachbarschaft des Knoten
    - Schneller Routing-Fortschritt über weite Distanzen
    - Beschränkte Anzahl von Links per Knoten

# Chord: Routing

## Chord's RoutingTabelle: *finger table*

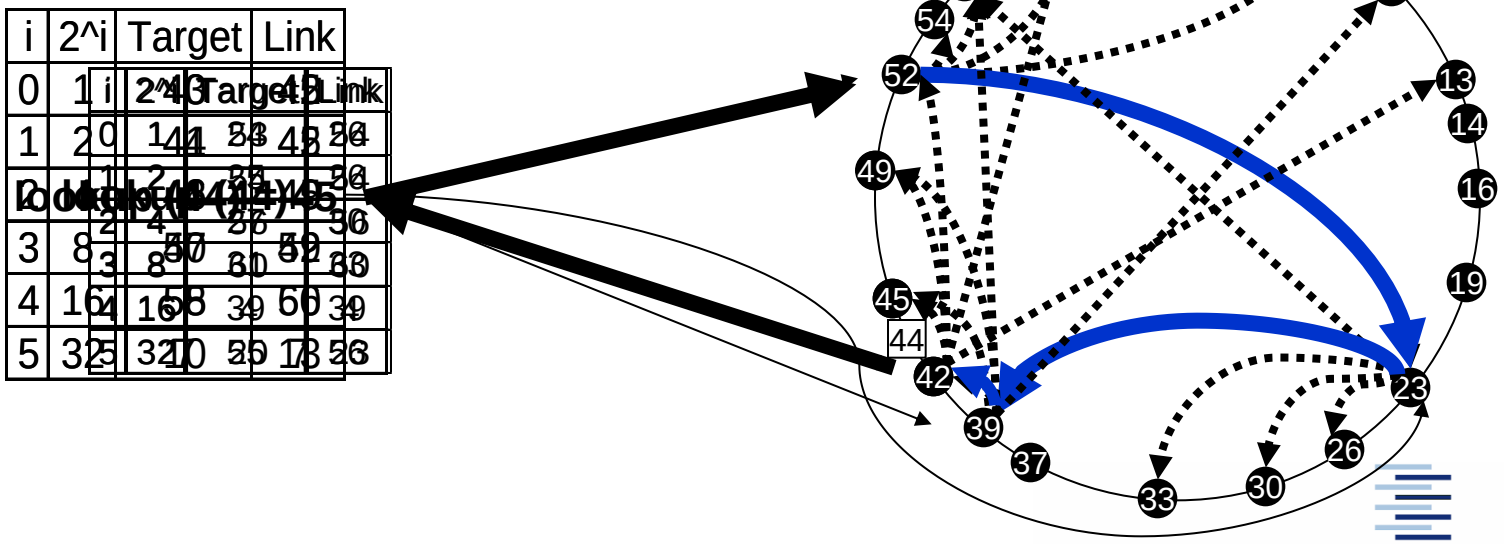
- Speichert log(N) Links per Knoten
- Überdeckt exponentiell wachsende Distanzen:
  - Knoten n: Eintrag i zeigt auf successor(n + $2^i$) (*i-th finger*)



# Chord: Routing

## Chord's Routing Algorithmus:

- Jeder Knoten n leitet Suche für key k im Uhrzeigersinn
  - zum entferntesten finger vor k
  - bis n = predecessor(k) und successor(n) = successor(k)
  - Rückgabe successor(n) zum Anfragenden

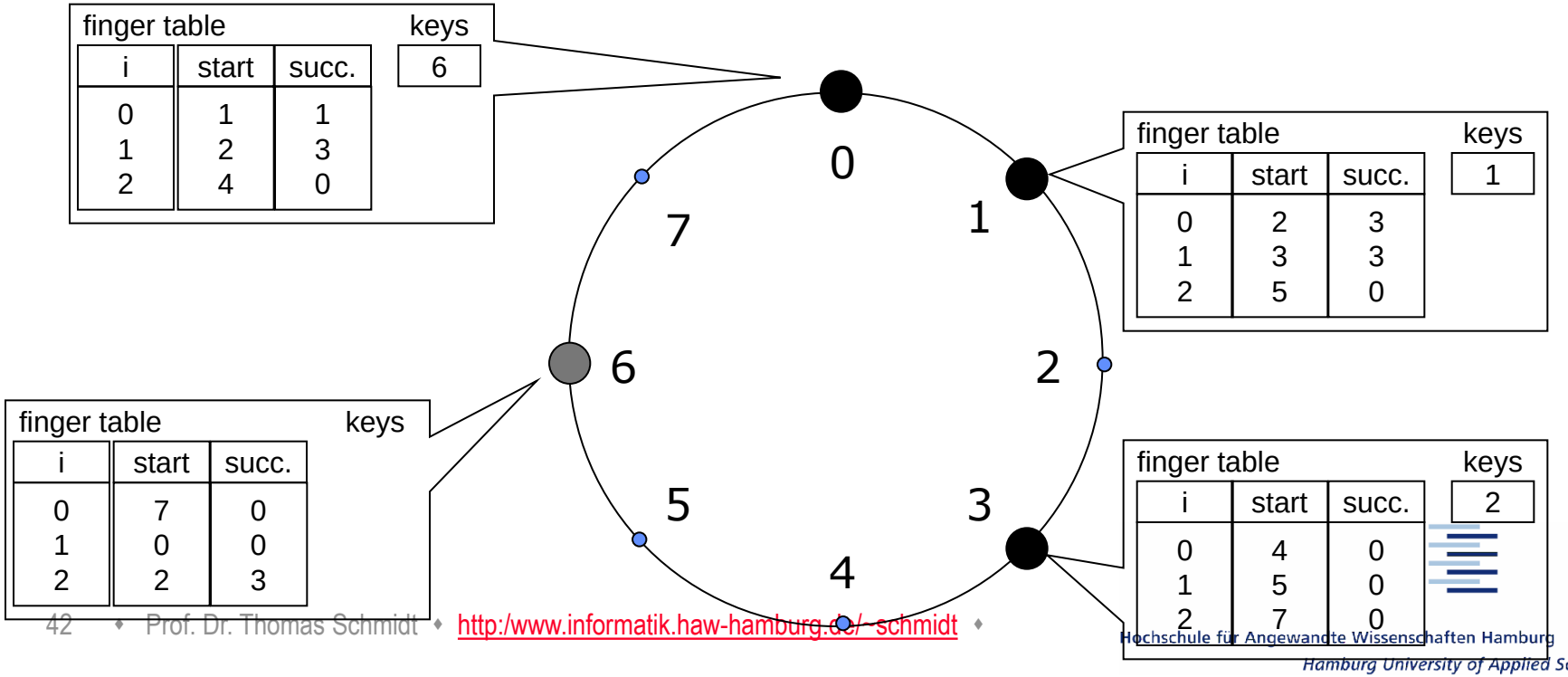


# Chord: Selbstorganisation

- Handhabung veränderlicher Netzwerkbedingungen
  - Knotenfehler
  - Netzwerkfehler
  - Ankunft neuer Knoten
  - Verschwinden bisheriger Knoten
- Erhalt konsistenter Systemzustände
  - Halte Routing Informationen aktuell
    - Routing Korrektheit liegt in den richtigen Nachfolgerinformationen
    - Routing Effizienz liegt in richtigen finger tables
  - Fehlertoleranz für alle Operationen erforderlich

# Chord: Knotenbeitritt

- Knoten bildet seine ID
- Kontaktiert bestehenden Chord Knoten (vom Bootstrapping)
- Sucht eigene ID und erfährt so seinen Nachfolger
- Erfragt (key, value) Paare vom Nachfolger
- Konstruiert finger table mittels Standard-Routing/lookup()



# Chord: Zusammenfassung

- Komplexität
  - Nachrichten per lookup: O(log N)
  - Speicherplatz per Knoten: O(log N)
  - Nachrichten pro Managementaktion (join/leave/fail): $O(\log^2 N)$
- Vorteile
  - Theoretische Modelle und Beweise der Komplexität
  - Einfach & flexibel
- Nachteile
  - Keine Kenntnis der (Underlay-) Distanz
  - Chord Ringe können in der Realität auseinander fallen
- Viele publizierte Verbesserungen
  - z.B. Proximität, bi-directionale Links, Lastausgleich, etc.

# References


- Andy Oram (ed.): *Peer-to-Peer*, O'Reilly, 2001.
- R. Steinmetz, K. Wehrle (eds.): *Peer-to-Peer Systems and Applications,* Springer LNCS 3485, 2005.
- C.Plaxton, R. Rajaraman, A. Richa: Accessing Nearby Copies of Replicated Objects in a Distributed Environment, Proc. of 9th ACM Sympos. on parallel Algor. and Arch. (SPAA), pp.311-330, June 1997.
- I. Stoica, R. Morris, D. Karger, F. Kaashoek, and H. Balakrishnan: Chord: A Scalable Peer-to-Peer Lookup Service for Internet Applications. Proc. of the 2001 ACM SigComm, pp. 149 – 160, ACM Press, 2001.