

Peer-to-Peer- Netzwerke



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

Christian Schindelhauer

Sommersemester 2006

17. Vorlesung

05.07.2006

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 geordneter Speicherung**
 - P-Grid
 - Skip-Net und Skip-Graphs

- **Selbstorganisation**
 - Pareto-Netzwerke
 - Zufallsnetzwerke
 - Topologie-Management
- **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**



Selbstorganisation in Peer-to-Peer-Netzwerken

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

I. Die Graphstruktur von Gnutella

- A. Grad
- B. Durchmesser

II. Selbstorganisation von Zufallsgraphen

- A. Typen und Eigenschaften von Zufallsgraphen
- B. Reguläre ungerichtete zusammenhängende Zufallsgraphen
- C. Reguläre gerichtete zusammenhängende Zufallsgraphen

III. Gesteuerte Selbstorganisation

- A. Topologie-Management (T-MAN)
- B. Selbstorganisierendes Chord



II. Gnutella

A. Grad

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

-
- **Scalability Issues in Large Peer-to-Peer Networks - A Case Study of Gnutella, M.A. Jovanovic, F.S. Annexstein, K.A. Berman - University of Cincinnati, 2001**

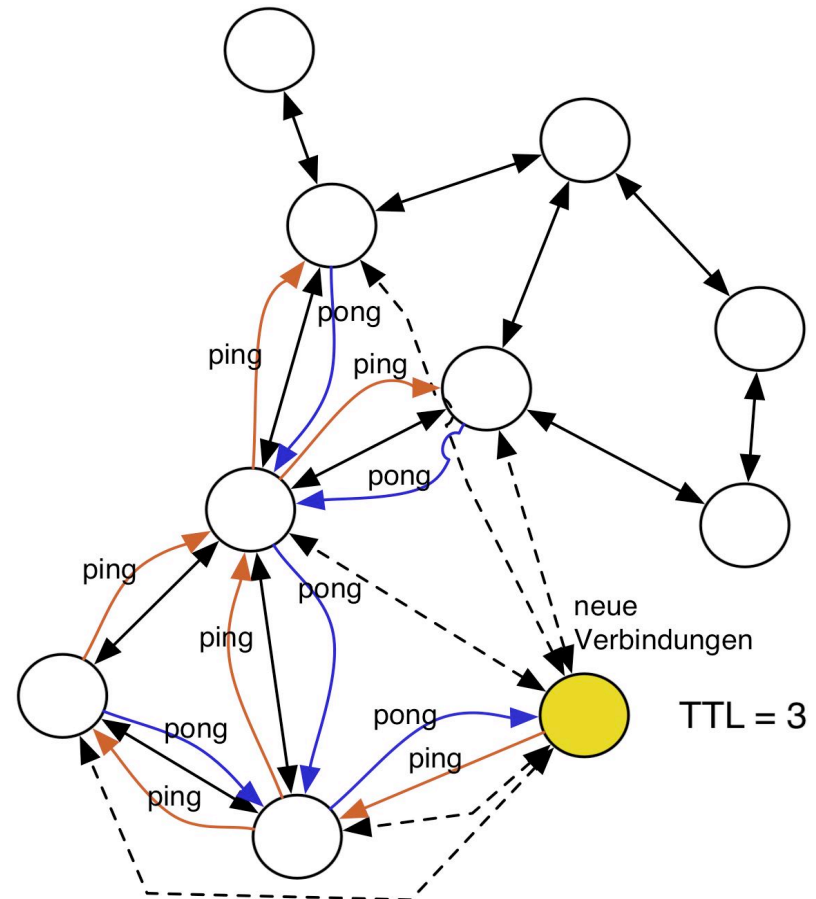


Gnutella - Originalversion - Anbindung

➤ Nachbarschaftslisten

- Gnutella verbindet direkt mit anderen Clients
- Beim Download wird eine Liste von Clients mitgeliefert
- Diese werden ausprobiert bis ein Aktiver sich meldet
- Ein aktiver Client gibt dann seine Nachbarschaftsliste weiter
- Nachbarschaftslisten werden immer weiter verlängert und gespeichert
- Die Anzahl aktiver Nachbarn ist beschränkt (typisch auf fünf)

➤ Die Nachbarschaftslisten sind abhängig von der jeweils verwendeten Client-Software





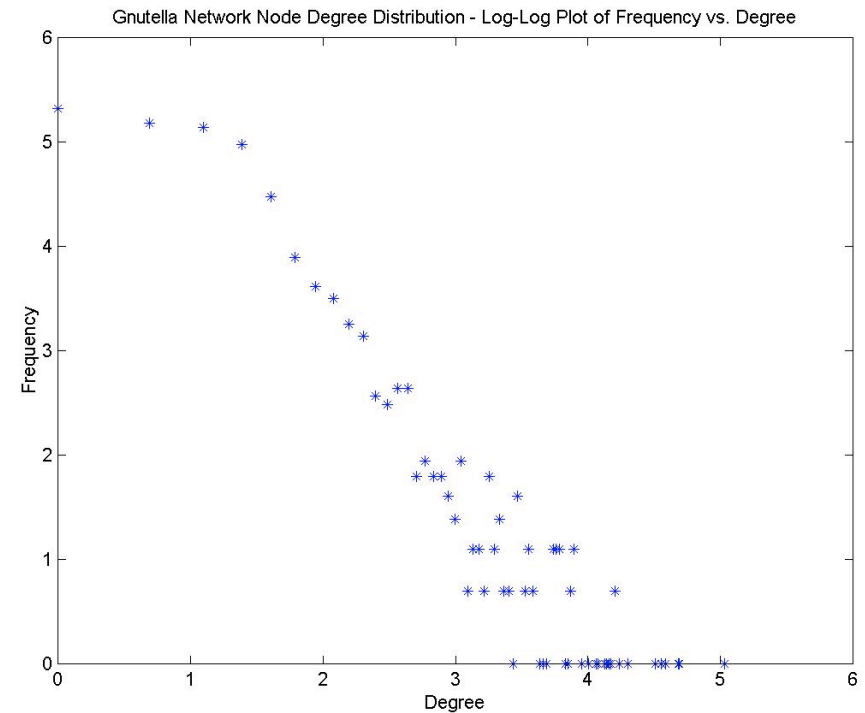
Verteilung des Grads in Gnutella

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

- **Modeling Large-scale Peer-to-Peer Networks and a Case Study of Gnutella, Mihajlo A. Jovanovic, Master Thesis, 2001**
- **Die Anzahl der Nachbarn unterliegt einer Pareto-Verteilung (Power Law)**

$$\log(\text{Anzahl Peers mit Grad } d) = c - k \log(d)$$

$$\text{Anzahl Peers mit Grad } d = \frac{C}{d^k}$$





Pareto Verteilung

- **Diskrete Pareto-Verteilung für $x \in \{1,2,3,\dots\}$**

$$\mathbf{P}[X = x] = \frac{1}{\zeta(\alpha) \cdot x^\alpha}$$

mit konstantem Faktor $\zeta(\alpha) = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{i^\alpha}$

(auch bekannt als Riemannsches Zeta-Funktion)

- **Heavy tail**
- nicht alle Momente $E[X^k]$ sind definiert
 - der Erwartungswert existiert nur wenn $\alpha > 2$
 - Varianz und $E[X^2]$ existieren genau dann wenn $\alpha > 3$
 - $E[X^k]$ definiert genau dann wenn $\alpha > k+1$
- **Dichtefunktion der kontinuierlichen Funktion für $x > x_0$**

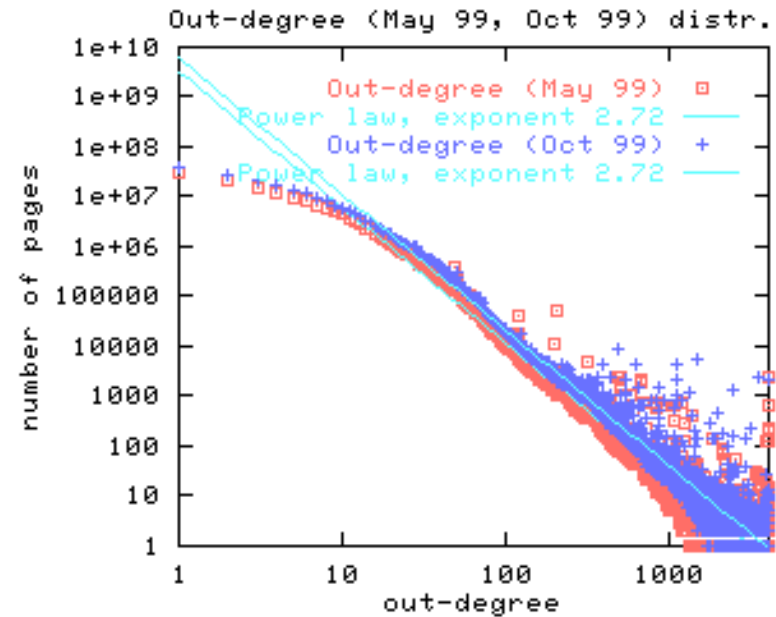
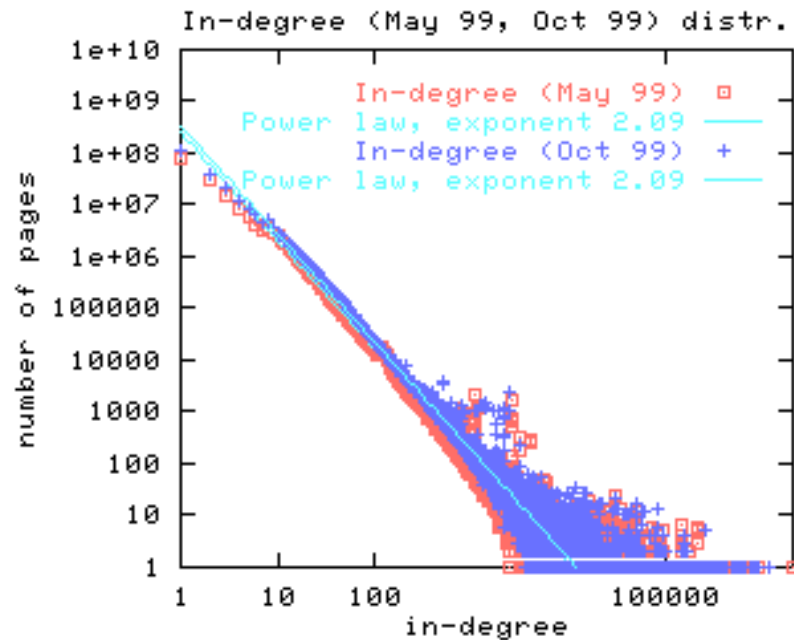
$$f(x) = \frac{\alpha - 1}{x_0} \left(\frac{x_0}{x}\right)^\alpha$$



Eingrad und Ausgrad von Webseiten

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

➤ unterliegen auch einer Pareto-Verteilung



➤ Experimente von

- Kumar et al 97: 40 Mio. Webpages
- Barabasi et al 99: Domain *.nd.edu + Web-Seiten im Abstand 3
- Broder et al 00: 204 Mio. Webseiten (Scan Mai und Okt. 1999)



Zusammenhang von Pareto-Graphen

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

➤ **William Aiello, Fan Chung, Linyuan Lu, A Random Graph Model for Massive Graphs, STOC 2000**

➤ **Ungerichteter Graph mit n Knoten**

- Die Wahrscheinlichkeit dass ein Knoten k Nachbarn hat ist p_k
- wobei $p_k = c k^{-\tau}$ für einen normalisierenden Faktor c

➤ **Theorem**

- Für genügend großes n gilt für solche Pareto-Graphen mit Exponenten τ
 - Für $\tau < 1$ ist der Graph mit Wahrscheinlichkeit $1-o(1)$ zusammenhängend
 - für $\tau > 1$ sind die Graphen mit W'keit $1-o(1)$ nicht zusammenhängend
 - Für $1 < \tau < 2$ gibt es eine Zusammenhangskomponente der Größe $\Theta(n)$
 - Für $2 < \tau < 3.4785$ gibt es eine Zusammenhangskomponente der Größe $\Theta(n)$ und sonst nur Kleinere der Größe $O(\log n)$
 - For $\tau > 3.4785$: Es gibt mit Wahrscheinlichkeit $1-o(1)$ keine große Zusammenhangskomponente der Größe $\Theta(n)$
 - For $\tau > 4$: Alle Zusammenhangskomponenten gehorchen einer Pareto-Verteilung



Pareto-Verteilung (I)

➤ Beispiele für Pareto-Verteilungen (Power Laws)

- Pareto 1897: Verteilung des Wohlstands in der Bevölkerung
- Yule 1944: Worthäufigkeit in Sprachen
- Zipf 1949: Größe von Städten
- Länge von Molekülketten
- Dateilänge von UNIX-Systemdateien
-



Die Zipf Verteilung als Variante

- **George Kinsley Zipf behauptete,**
 - dass die Häufigkeit des n -häufigsten Wort mit relativer Häufigkeit $f(n)$
 - der Gleichung $n f(n) = c$ genügt.
- **Zipf Wahrscheinlichkeitsverteilung for $x \in \{1,2,3,\dots\}$**

$$P[X = x] = \frac{c}{x}$$

mit konstanten Faktor c
Nur definiert für konstante Mengen, da

$$\ln n \leq \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} \leq 1 + \ln n$$

unbeschränkt ist

- **Zipf-Verteilungen beziehen sich auf den Rang**
 - Der Zipf Exponent α kann auch größer sein als 1, i.e. $f(n) = c/n^\alpha$
- **Pareto-Verteilungen beziehen sich auf die absolute Größe**
 - z.B. Einwohnerzahl

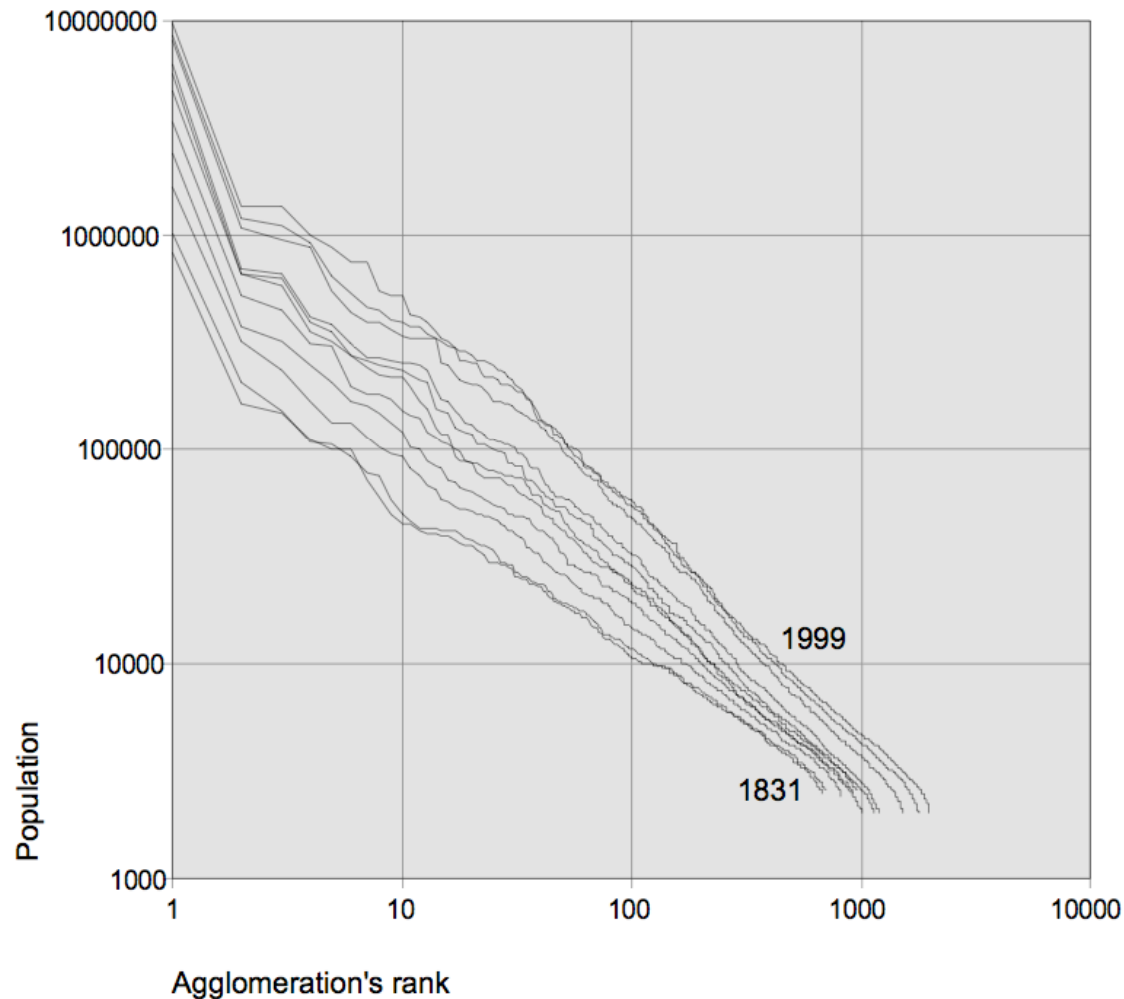


Größe von Städten

Scaling Laws and Urban Distributions, Denise Pumain, 2003

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

**Figure 1 The hierarchical differentiation in urban systems:
Rank-size distribution of French agglomerations (1831-1999)**



Zipf-Verteilung

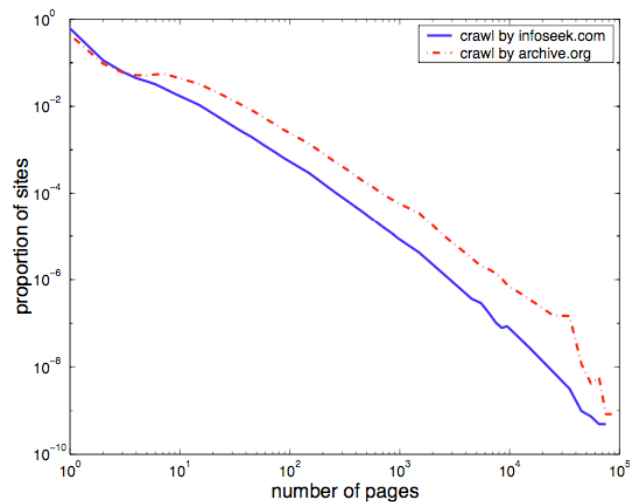


Zipf's Law and the Internet

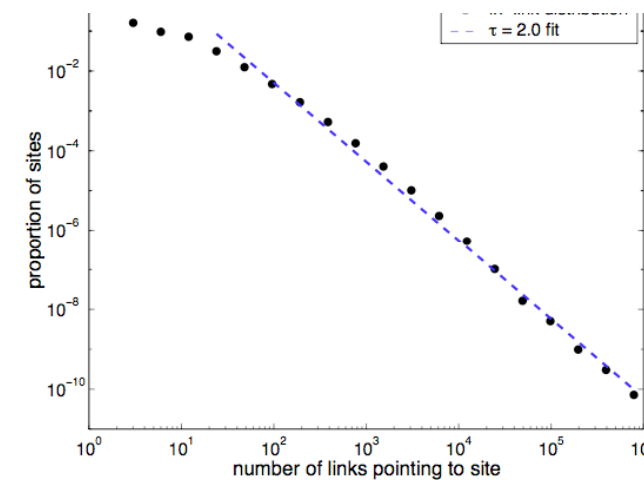
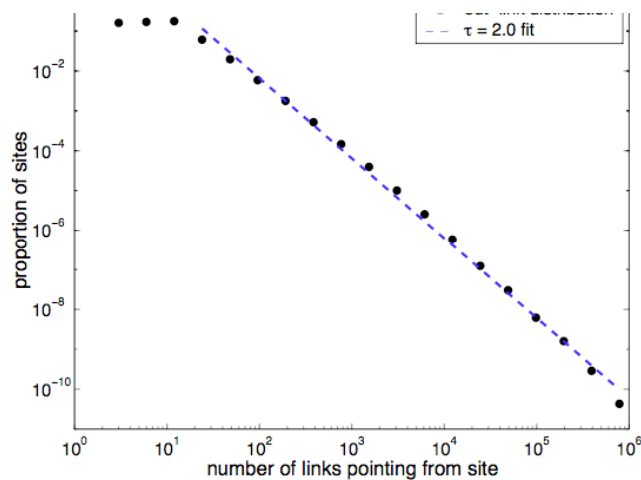
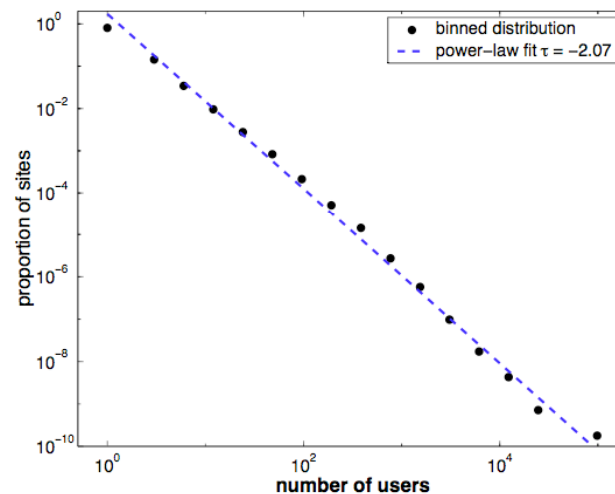
Lada A. Adamic, Bernardo A. Huberman, 2002

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

a)



b)



Pareto
Verteilung

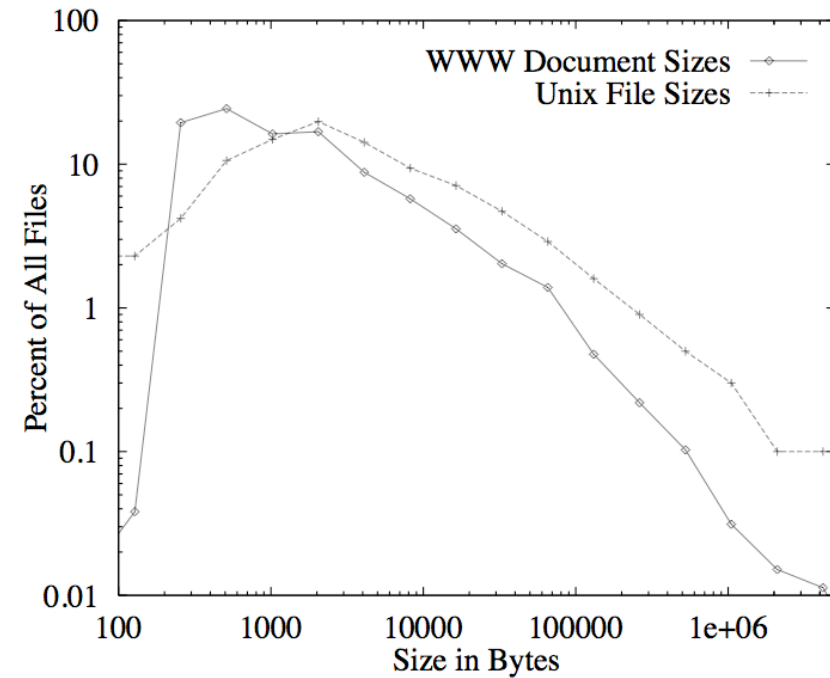
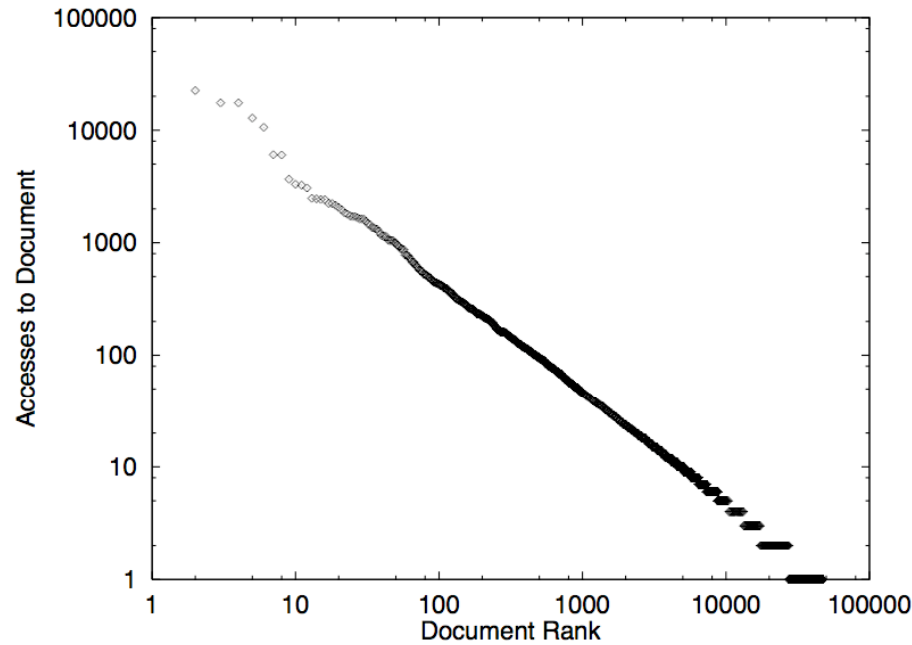
Figure 1. Fitted power law distributions of the number of site a) pages, b) visitors, c) out links, and d) in links, measured in 1997.



Heavy-Tailed Probability Distributions in the World Wide Web

Mark Crovella, Murad, Taqqu, Azer Bestavros, 1996

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





II. Gnutella

B. Durchmesser

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

-
- **Beobachtung: Gnutella**
 - **Small-World-Networks**
 - **Milgrams Experiment**
 - **Preferential Attachment**



Small World Phänomen

➤ **Milgram's Experiment 1967**

- 60 zufällig ausgewählte Teilnehmer in Wichita, Kansas sollten ein Paket an eine ihnen unbekannte Adresse versenden
- Sie durften aber nur an Bekannte das Paket weiterversenden
- Ebenso die Bekannte

➤ **Der Großteil der Pakete kam an und innerhalb von 6 Schritten**

➤ **Small-World-Netzwerke**

- sind Netzwerke deren Knotengrade Pareto-verteilt ist
- mit kleinen Durchmesser
- und relativ vielen Cliques

➤ **Small-World-Netzwerke**

- Internet, World-Wide-Web, Nervensysteme, soziale Netzwerke, etc.



Wie entstehen Small-World-Netzwerke

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

- **Emergence of scaling in random networks, Albert-Laszlo Barabasi, Reka Albert, 1999**
- **Preferential Attachment-Modell (Barabasi-Albert):**
 - Ausgehend von einem (kleinen Startgraphen) werden sukzessive Knoten eingefügt mit jeweils m Kanten
 - Die Wahrscheinlichkeit mit einem Knoten verbunden zu werden, ist proportional zum aktuellen Grad des Knotens
- **Ergibt ein Pareto-Netzwerk mit Exponenten $2,9 \pm 0,1$**
 - Cliques treten häufiger auf
- **Watts-Strogatz (1998)**
 - Starte mit Ring-Netzwerk mit Verbindungen mit den m -nächsten Nachbarn
 - Mit Wahrscheinlichkeit p wird jede Kante durch eine zufällige Kante ersetzt
 - Ermöglicht einen stufenlosen Übergang von Ordnung zu Chaos
- **Aufgegriffen von Kleinberg (1999) zur Verifizierung von Milgrams Experiment**



Gnutella im Vergleich

- **Modeling Large-scale Peer-to-Peer Networks and a Case Study of Gnutella, Mihajlo A. Jovanovic, Master Thesis, 2001**

Snapshot date	Nodes	Edges	Diameter
11/13/2000	992	2465	9
11/16/2000	1008	1782	12
12/20/2000	1077	4094	10
12/27/2000	1026	3752	8
12/28/2000	1125	4080	8



Gnutella im Vergleich

- **Modeling Large-scale Peer-to-Peer Networks and a Case Study of Gnutella, Mihajlo A. Jovanovic, Master Thesis, 2001**
- **Vergleich der charakteristischen Pfadlänge**
 - Durchschnitt der Abstände zwischen zwei Knoten

	Gnutella	BA	WS	G(n,p)	2D mesh
11/13/2000	3.72299	3.47491	4.59706	4.48727	20.6667
11/16/2000	4.42593	4.07535	4.61155	5.5372	21.3333
12/20/2000	3.3065	3.19022	4.22492	3.6649	22
12/27/2000	3.30361	3.18046	4.19174	3.70995	21.3333
12/28/2000	3.32817	3.20749	4.25202	3.7688	22.6667

Ende der 17. Vorlesung



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

Peer-to-Peer-Netzwerke
Christian Schindelhauer
schindel@informatik.uni-freiburg.de