

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
● ○○○○○ ○○○ ○○○	○○○ ○○○○○○○○○○○○	○○○○○ ○○○ ○○○○○ ○○ ○○○○○○○	○○○ ○○○ ○○○ ○○	○○○ ○○ ○○ ○○ ○○	○○○ ○○○ ○○ ○○ ○○ ○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

Willkommen bei Verteilte Systeme!

Willkommen bei Verteilte Systeme!

*Von Datenbanken
über Webdienste
bis zu p2p und Sensornetzen.*



Heute: **Peer-to-peer in der Praxis – wo und wie sich Verteilung lohnt(-e).**

Wer nicht aus der Vergangenheit lernt, ist verdammt ihre Fehler wiederholen, mit weniger Zeit, denn „die Probleme sind ja schon gelöst“.

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ●○○○○○ ○○○ ○○○	○○○ ○○○○○○○○○○○○	○○○○○ ○○○ ○○○○○ ○○ ○○○○○○○○	○○○ ○○○○ ○○○ ○○	○○○ ○○ ○○ ○○ ○○	○○○ ○○○ ○○ ○○ ○○ ○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

Warum?

Darum praktisch erprobte p2p-Netze verstehen

*after a few days (and especially nights) of nervous full-site tinkering, it turned a 40 minute deploy process into one that lasted just 12 seconds!*¹

- Bittorrent-Deployment: <https://vimeo.com/11280885>

Spoiler: Cut-through routing.

¹ <https://web.archive.org/web/20120807165933/http://engineering.twitter.com/2010/07/murder-fast-datacenter-code-deploys.html>

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
						

Warum?

Mein Ziel

Ich will, dass Sie die Fähigkeiten erwerben, unter denen zu sein, die die Deployment Zeit um Größenordnungen verringern, ohne dabei die Kosten dafür zu zahlen, Torrents als Blackbox zu sehen.

Torrent Bezeichnung für eine BitTorrent-Datei oder eine von BitTorrent verwaltete Datei.

BitTorrent Ein p2p-System zum Verteilen großer Datenmengen, bei dem die Verwaltung auf zentralisierten Trackern läuft

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○●○○○ ○○○ ○○○○	○○○○ ○○○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○ ○○○ ○○○○○○○ ○○ ○○○○○○○○○	○○○ ○○○ ○○○○○ ○○○ ○○	○○○ ○○ ○○ ○○ ○○	○○○ ○○○ ○○ ○○○ ○○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

Warum?

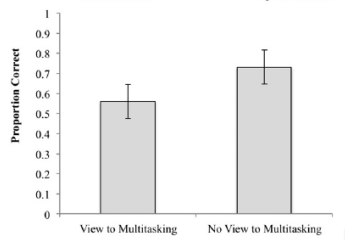
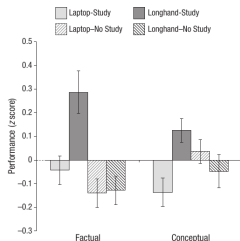
Darum ich

- Seit 2004 in p2p-Entwicklung
- Seit 2013 mit Kompetenz :-)
- Aktuell Release-Manager des Freenet/Hyphanet Projektes



Warum?

Laptops: Eigenverantwortlich



“even when laptops are used solely to take notes ... their use results in shallower processing.”

— Mueller and Oppenheimer (2014)

“Laptop multitasking hinders classroom learning for both users and nearby peers”

— Sana et al. (2013)

Laptops

■ Möglichst zu

Arne Babenhauserheide

Verteilte Systeme 1: peer-to-peer



Warum?

Projekte

- Notieren Sie bitte Ideen
- Modulplan: 39h Selbststudium
- Projekt interessanter und nützlicher als Klausur
- Projektideen sammeln.

Doing X with [libp2p](#) oder [libresilient](#)?

Auf einem der aktuellen [NLnet-Projekte](#) aufbauen?

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○● ○○○ ○○○	○○○ ○○○○○○○○○○○○	○○○○○ ○○○ ○○○○○ ○○ ○○○○○○○○	○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○	○○○ ○○ ○○ ○○ ○○	○○○ ○○○ ○○ ○○ ○○ ○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

Warum?

Vorträge

- 5 Minuten pro Person, Gruppen möglich.
- Weitere Ideen: Übersicht über einen [FOSDEM 2023-Vortrag](#).



Wiederholung

Wiederholung 1

- Sammlung autonomer Knoten, die als ein kohärentes System erscheinen.
- **Ziele:** Ressourcen, Verteilungstransparenz, Skalierbarkeit
- **Skalierung:** Größe, Geographie, Administration
- Latenz, Partitionierung, Replikation, Caching
- **Fallacies!**
- Cluster, Grid, Cloud, Ubiquitous, Mobile, DIS, Sensornetze



Wiederholung

Fallacies of distributed Systems

- | | |
|------------------------------|-----------------------------------|
| 1 The network is reliable | 1 Hard disks don't fail |
| 2 The network is secure | Files stay intact |
| 3 The network is homogeneous | 2 Power is stable |
| 4 Topology does not change | 3 IPs are reachable |
| 5 Latency is zero | 4 Constant factors are negligible |
| 6 Bandwidth is infinite | 5 APIs stay compatible |
| 7 Transport cost is zero | 6 Textfiles are simple |
| 8 There is one administrator | |

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○ ●○○○	○○○ ○○○○○○○○○○○○○	○○○○○ ○○○ ○○○○○ ○○ ○○○○○○○○	○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○	○○○ ○○ ○○ ○○ ○○ ○○	○○○ ○○○ ○○ ○○ ○○ ○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

Ablauf

Ablauf heute

- Grundprobleme
- Gnutella (das Erste verbreitete, komplett verteilte p2p-Netz)

--- PAUSE 14:30 ---

- Kademlia (das am weitesten verbreitete DHT)
- BitTorrent
- Freenet/Hyphanet
- Weiteres (Aktuelles, WebRTC, ...)



Ablauf

Was und warum?

Was?

peer-to-peer (p2p) peers (gleichberechtigte Partner) arbeiten zusammen, um sich gegenseitig einen Dienst zu erbringen.

Warum?

Sie haben ein unerwartet beliebtes Programm geschrieben. Jetzt wollen es 100 Millionen Leute herunterladen. Größe: 50GiB. Wie viel kostet die Verteilung?

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○●○	○○○○ ○○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○ ○○○ ○○○○○○○ ○○ ○○○○○○○○○	○○○ ○○○ ○○○○○ ○○○ ○○	○○○ ○○ ○○ ○○ ○○	○○○ ○○○ ○○ ○○ ○○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

Ablauf

Ziele heute

- Sie kennen die zentralen Herausforderungen der Praxis:
 - Einstieg
 - Suche
 - Inhalte verbreiten
 - Kommunikation
- Sie können in Bezug auf zwei Herausforderungen die Eigenschaften von je zwei p2p-Systemen beschreiben, die sich in der echten Welt bewährt haben.
- Sie können einschätzen, ob ein bestimmtes Konzept diese Herausforderungen bestehen könnte.

Welche p2p-Netze kennen Sie

am FlipChart sammeln

-
-
-
-
-

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○	●○○○ ○○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○ ○○○ ○○○○○○○ ○○ ○○○○○○○○○	○○○ ○○○ ○○○○○ ○○○ ○○	○○○ ○○ ○○ ○○ ○○ ○○	○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

Ziele für Grundprobleme

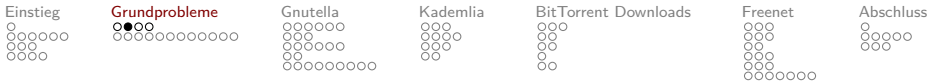
Sie können die Grundprobleme beschreiben, die Peer-to-Peer-Netze lösen müssen:

Fundamente

- Einstieg
- Suche
- Verbreitung

Aufbauend

- Kommunikation
- Störungsresistenz



Grundprobleme in Peer-to-Peer-Netzen

- **Einstieg:** Wie finde ich meinen Platz im Netz?



- **Suche:** Wo gibt es, was ich brauche?



- **Störungsresistenz:** *Wie skaliert Gewünschtes besser als Unerwünschtes?*

- **Verbreitung:** Wie vermeide ich Flaschenhälse?



- **Kommunikation:** Wie fließen Informationen durchs Netz?





Warum p2p?

Skalierbarkeit Ein einzelner Server bricht bei etwa 100k Anfragen pro Sekunde ein. *dwd bei Sturm Sabine 2020?*

Mit Nutzung wachsen Ähnliche Infrastruktur für 1000 Leute oder 10 Millionen Leute

Infrastrukturkosten 100k€ pro Jahr = Entwickler oder Entwicklerin

Einstieg ○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○	Grundprobleme ○○○● ○○○○○○○○○○○○○	Gnutella ○○○○○○○ ○○○ ○○○○○ ○○ ○○○○○○○○○	Kademia ○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○	BitTorrent Downloads ○○○ ○○○ ○○ ○○ ○○ ○○	Freenet ○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○○○○○	Abschluss ○ ○○○○○ ○○○
--	--	--	---	--	---	--------------------------------

Warum nicht p2p?

- Gestiegene Leistung von Servern. *Sturm: dwd² hielt größtenteils Stand (durch vereinfachte Seite³)*
- Handies sind durch Batterie und Netz begrenzt → keine kontinuierliche Leistung. (Nachts möglich?)
- Viele der einfachen Lösungen unmöglich, z.B. Geld auf Probleme werfen.

²dwd: Deutscher Wetterdienst.

³⇒ gibt es eine einfachere Lösung?



Strukturiert vs. Unstrukturiert

Strukturiert

- **Erste Adressen:** Braucht Topologie⁴
- **Wahl der Verbindungen:** Nur bestimmte sinnvoll
- **Routing-Informationen:** Durch Auswahl der Partner (Peers)

Unstrukturiert

- **Erste Adressen:** Einfache Liste
- **Wahl der Verbindungen:** Beliebige Andere
- **Routing-Informationen:** Explizit austauschen

Kann ich alle direkt erreichen?

⁴Topologie: Struktur des Netzes.



Suche: Wonach suchen?

- **Schlüsselwort:** Gnutella, Skype (vor MS)
- **Inhalts-Hash:** Kademlia, BitTorrent VHT, Freenet
- **Öffentlicher Schlüssel:** Freenet

Glossar:



BitTorrent VHT Verteilte Hashtabelle, ein DHT

DHT Distributed Hashtable

Öffentlicher Schlüssel public key, das Gegenstück zum privaten Schlüssel in asymmetrischer Verschlüsselung.

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○	○○○○ ○○○●○○○○○○○○	○○○○○○○ ○○○ ○○○○○○○ ○○ ○○○○○○○○○	○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○	○○○ ○○ ○○ ○○ ○○ ○○	○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

Suche: Wo gibt es, was ich brauche?

Zwei Konzepte:

- Pfade zu existierenden Daten finden: Gnutella
- Daten an die richtigen Orte bringen: Kademlia, BitTorrent, VHT, Freenet

Schlüssel zum Licht





Verbreitung: Wie vermeide ich Flaschenhälse?

- Zentralisiert: Streaming im Provider-Netz via Multicast
- Swarming: Nutzer übernehmen einen Teil der Verteilung
 - Koordiniert von zentraler Stelle: BitTorrent (Tracker)
 - Koordiniert durch die Nutzer: Gnutella (Download-Mesh)
 - Unabhängig verteilte Fragmente: Freenet⁵

Glossar:



Download-Mesh Name des Protokolls

Tracker Ein Server der den BitTorrent-Schwarm Koordiniert

⁵Reduziert Swarming auf Download einzelner Dateien, braucht aber caching:
Zeitlich begrenzte Zwischenspeicherung.

Einstieg ○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○	Grundprobleme ○○○○ ○○○○○○○●○○○○○	Gnutella ○○○○○○○ ○○○ ○○○○○○○ ○○ ○○○○○○○○○	Kademia ○○○ ○○○ ○○○ ○○○	BitTorrent Downloads ○○○ ○○○ ○○ ○○ ○○	Freenet ○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○○○○○	Abschluss ○ ○○○○○ ○○○
--	--	--	-------------------------------------	--	---	--------------------------------

Kommunikation

- Vier-Augen Gespräch (PM/DM/msg/Anruf/...)
- Unterhaltung in Gruppen (Chat, Forum, Videokonferenz, ...)
- Öffentliche Unterhaltung
- Von neuen Inhalten erfahren
- Informationen über Inhalte (Kommentare, Bewertung, ...)



Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○	○○○○ ○○○○○○○○●○○○○	○○○○○○○ ○○○ ○○○○○○○ ○○ ○○○○○○○○○	○○○ ○○○ ○○○○○ ○○○ ○○	○○○ ○○ ○○ ○○ ○○	○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

Störungsresistenz: Wie skaliert Gewünschtes besser als Unerwünschtes?

Störung

“Disruption”, alles, was den die Qualität des Dienstes für die Nutzenden verringert



Störungsresistenz: Wie skaliert Gewünschtes besser als Unerwünschtes?

Störung

“Disruption”, alles, was den die Qualität des Dienstes für die Nutzenden verringert

In Gruppen sammeln

- Knotenauswahl:
- Suche:
- Verbreitung:
- Kommunikation:

Einstieg ○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○	Grundprobleme ○○○○ ○○○○○○○○●○○○	Gnutella ○○○○○○○ ○○○ ○○○○○ ○○ ○○○○○○○○○	Kademlia ○○○ ○○○ ○○○ ○○ ○○	BitTorrent Downloads ○○○ ○○ ○○ ○○ ○○	Freenet ○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○○○○○	Abschluss ○ ○○○○○ ○○○
--	---------------------------------------	--	---	---	---	--------------------------------

Störungsresistenz: Wie skaliert Gewünschtes besser als Unerwünschtes?

Störung

“Disruption”, alles, was die Qualität des Dienstes für die Nutzer verringert

Auf jeder Ebene nötig

- **Knotenauswahl:** Verbindung mit Angreifern
- **Suche:** Spam, Falschinformationen
- **Verbreitung:** Dateien korrumpieren
- **Kommunikation:** Spam, Belästigung und Zensur⁶

⁶ „Das Web betrachtet Zensur als Störung und lenkt Anfragen darum herum.“

— The Internet treats censorship as a malfunction and routes around it. – John Perry Barlow

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○○	○○○○ ○○○○○○○○○○●○○	○○○○○○○ ○○○ ○○○○○○○ ○○ ○○○○○○○○○	○○○ ○○○ ○○○○○ ○○○ ○○	○○○ ○○ ○○ ○○ ○○ ○○	○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

Störquellen

Sammeln am Flipchart

⁷Werbung ist Spam durch die genutzte Plattform.

Arne Babenhauserheide

Verteilte Systeme 1: peer-to-peer



Störquellen

Sammeln am Flipchart

Quellen

- **Parasiten:** Bessere Leistung auf Kosten Anderer (leecher).
- **Trolle:** Kein Finanzinteresse, minimale Ressourcen, nutzen jegliche Lücke.
- **Spammer:** Erfolg durch Verbreitung eigener Inhalte.⁷
- **Konkurrenten:** Erfolg durch verringerte Qualität des Systems.
- **Angreifer:** Erfolg durch Schädigung von Nutzern.

⁷Werbung ist Spam durch die genutzte Plattform.



Weitere Eigenschaft: Grad der Verteilung

Serverkoordinierte Teilgruppen bis vollständig dezentrale Interaktion.

Einstieg ○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○	Grundprobleme ○○○○ ○○○○○○○○○○○●	Gnutella ○○○○○○○ ○○○ ○○○○○ ○○ ○○○○○○○○○	Kademlia ○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○	BitTorrent Downloads ○○○ ○○○ ○○ ○○ ○○	Freenet ○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○○○○○	Abschluss ○ ○○○○○ ○○○
--	---------------------------------------	--	--	--	---	--------------------------------

Zusammenfassung

- **Einstieg:** Erste Adressen und Routing-Info



- **Suche:** Schlüsselwort, Inhalt, Public Key



- **Störung:** Parasiten, Trolle, Spammer, Konkurrenten und Angreifer

- **Verbreitung:** Tracker, Download-Mesh, Fragmente mit Caching



- **Kommunikation:** Privatnachricht, Forum, Neuigkeiten, Kommentare



Einstieg ○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○	Grundprobleme ○○○○ ○○○○○○○○○○○○○	Gnutella ●○○○○○ ○○○○○○○ ○○○○○○○ ○○○○○○○○○	Kademlia ○○○ ○○○○○ ○○○ ○○	BitTorrent Downloads ○○○ ○○○ ○○ ○○ ○○	Freenet ○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○○○○○	Abschluss ○ ○○○○○ ○○○
--	--	--	---------------------------------------	--	---	--------------------------------

Gnutella

Erinnert mich bitte an die Pause

*On March 14th, 2000, ... an early version ... with a note:
“Justin and Tom work for Nullsoft, makers of Winamp and
Shoutcast. See? AOL can bring you good things!” ...*

*AOL ordered him to take the program down immediately
... calling Gnutella an “unauthorized freelance project.” ...
hackers had gone ... to reverse-engineer it ... into the
hands of the open-source community ...*

*— The World’s Most Dangerous Geek; Interviewed by David
Kushner; RollingStone.com; January 13, 2004.*

*Ursprung der ersten Tauschbörse.⁸ Sie verschwand nach verlorenen
Urheberrechtsklagen der Entwicklungsfirmen in der Obskurität und
seine technischen Errungenschaften gerieten in Vergessenheit.*

⁸Tauschbörsen: Ein Dienst, in dem Nutzerinnen und Nutzer Inhalte anbieten

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○	○○○ ○○○○○○○○○○○○○	●●○○○○ ○○○ ○○○○○ ○○ ○○○○○○○	○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○	○○○ ○○ ○○ ○○ ○○ ○○	○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

Ziele

Sie verstehen die grundlegende Funktionsweise von Gnutella als Beispiel einer effizienten, dezentralen Schlüsselwort-Suche.

Sie erkennen, wo die für Gnutella entwickelten Techniken sinnvoll genutzt werden können.

Sie wissen, welche Probleme ungelöst blieben.

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent	Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○	○○○ ○○○○○○○○○○○○○	○○●○○○ ○○○ ○○○○○ ○○ ○○○○○○○○○	○○○ ○○○ ○○○ ○○	○○○ ○○ ○○ ○○ ○○		○○○ ○○○ ○○ ○○ ○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

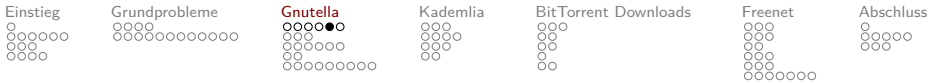
Inhalt

- **Nutzersicht:** Das war Gnutella
- **Einstieg:** GWebCaches
- **Suche:** Slow-Start + Keyword-Multicast
- **Verteilung:** Download-Mesh
- **Kommunikation:** Neues und Sammlung zeigen
- **Störungsresistenz:** Heuristik oder Inhalts-Matrizen

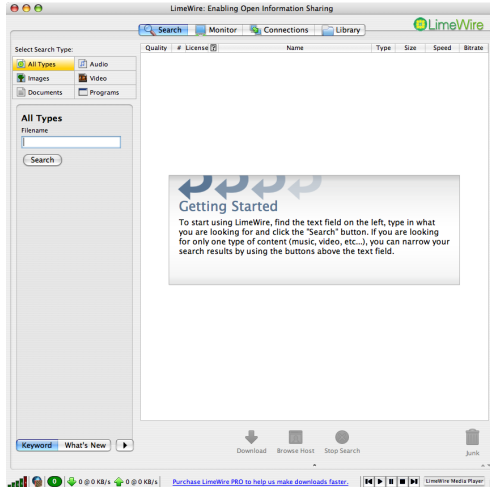


Sicht der Nutzer/-innen

- 50 Millionen Knoten
- Globale Suche nach Dateinamen und ID3-Tags
- Filter für Creative-Commons-Lizenzen
- Suche nach den neusten Dateien (What's New?)
- Downloads von vielen Quellen ohne zentrale Koordination
- Audio-Streaming um 2004 („Dateivorschau“)
- *LimeWire, Bearshare, Shareaza, Phex, gtk-gnutella, ...*



Praktisch



Arne Babenhausenheide

Verteilte Systeme 1: peer-to-peer

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○	○○○ ○○○○○○○○○○○○○	○○○○○● ○○○ ○○○○○ ○○ ○○○○○○○	○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○	○○○ ○○ ○○ ○○ ○○ ○○	○○○ ○○○ ○○ ○○ ○○ ○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

Implementierung (Grundlagen)

- **Adressen:** Webcaches
- **Verbindung:** HTTP-Handshake, dann Binär über TCP socket
+ out of band Antworten via UDP
- **Verbreitung:** HTTP + swarming
- **Kommunikation:** Via Suche

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○	○○○ ○○○○○○○○○○○○○	○○○○○ ●○○ ○○○○○ ○○ ○○○○○○○○○	○○○ ○○○ ○○○ ○○	○○○ ○○ ○○ ○○ ○○	○○○ ○○○ ○○ ○○ ○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

Einstieg: Webcaches

Ursprünglich

- Liste langlebiger Hosts einkompiliert

Final

- Liste der letzten guten Knoten
- UDP Host-Caches: Minimalserver, die IP-Listen sammeln und die neusten weitergaben
- Beispiel: GhostWhiteCrab⁹



⁹gwc resource: <https://github.com/gtk-gnutella/gwc>

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○	○○○○	○○○○○	○○○	○○○	○○○	○
○○○○○○○	○○○○○○○○○○○○○	●●○	○○○	○○○	○○○	○○○○○
○○○		○○○○○	○○○	○○	○○	○○○
○○○○		○○	○○	○	○○○	
		○○○○○○○○○	○○	○○	○○○○○○○	

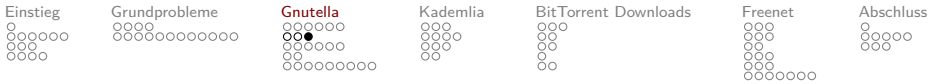
Weitere Knoten finden: X-Try

Beim Handshake (wie HTTP):

When rejecting a connection, a servent **MUST**, if possible, provide the remote host with a list of other Gnutella hosts, so it can try connecting to them. This **SHOULD** be done using the X-Try header.

An X-Try header can look like:

X-Try:1.2.3.4:1234,3.4.5.6:3456



Weitere Knoten finden: Pong

Pong messages contains information about a Gnutella host. The message has the following fields

Bytes: Description:

- 0-1 Port number. The port number on which the responding host can accept incoming connections.
- 2-5 IP Address. The IP address of the responding host.
Note: This field is in big-endian format.

...

- * When a Ping message is received (TTL>1 and it was at least one second since another Ping was received on that connection), a servent MUST, if possible, respond with a number of Pong Messages. These pongs MUST have the same message ID as the incoming ping, and a TTL no lower than the hops value of the ping.

→ http://rfc-gnutella.sourceforge.net/src/rfc-0_6-draft.html



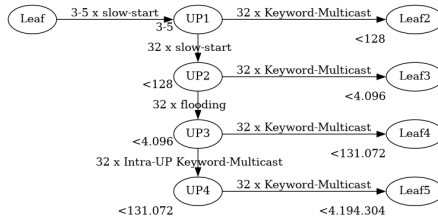
Suche abschicken

```
<15 bytes GUID>0x00
0x80 ; message type: Query
0x07 ; TTL: 7
0x00 ; Hops 0
0x00,0x00,0x09 ; payload length, max: 4kiB
0x00,0x00 ; min speed
test foo ; payload: search criteria
0x00 ; null-terminator, begins extensions
```

GUID Globally Unique ID. Zufällig erstellt, um Schleifen zu vermeiden.

Einstieg ○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○○	Grundprobleme ○○○○ ○○○○○○○○○○○○○○	Gnutella ○○○○○○○ ○○○ ●○○○○ ○○ ○○○○○○○○○	Kademlia ○○○ ○○○ ○○○ ○○	BitTorrent Downloads ○○○ ○○ ○○ ○○ ○○	Freenet ○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○○○○○	Abschluss ○ ○○○○○ ○○○
---	---	--	-------------------------------------	---	--	--------------------------------

Suche im Netz



Nicht existente Datei durchschnittlich: $4 \times 32 \times 32 = 4.096$ Knoten.

Last (empirisch): $<1\text{kiB/s}$ Leaf, $<14\text{kiB/s}$ Ultrapeer

Ultrapeer (UP) Ein Hub, über den Kommunikation läuft.

Leaf Ein Randknoten, sucht über Ultrapeers.

Knoten Ein Peer oder Ultrapeer.



Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○	○○○ ○○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○ ○○○ ○○●○○○ ○○ ○○○○○○○○○	○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○	○○○ ○○ ○○ ○○ ○○ ○○	○○○ ○○○ ○○ ○○ ○○ ○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

Suche 1: Slow-Start

„Dynamic Querying“ (DQ)

- Leaf fragt einen UP nach dem anderen. Stoppt nach „genug“ Ergebnissen (um die 100).
- UP fragt Leafs und andere UPs. Stoppt nach „genug“ Ergebnissen.

Suche 2: Keyword-Multicast

Query Routing Protocol (QRP)

- Suchwörter normalisiert:¹⁰ lowercase, keine Akzente, ...
- Query Routing Table (QRT): Set mit schwachen Hashes von normalisierten Suchwörtern
- Automatisch hochskaliert für gewünschten Füllgrad

Intra-Ultrapeer-QRP:

- Vereinigung der Tabellen

Ähnlich: Bloom-Filter

¹⁰ungelöst: Japanische oder Chinesische Zeichen.

Größe der Query Routing Tabellen in Gnutella

- Hashes: Normalisierte Suchwörter in der Suchanfrage oder im Dateinamen
- Größe: Variabel, Default in LimeWire 128kiB, interpolation auf größere und kleinere Tabellen möglich.
- Aktuell verfügbare Quelle: [BitSetQRTTableStorage.java](#)
- Hash-Funktion pro Suchwort: [HashFunction.java](#)

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○	○○○ ○○○ ○○○○○○○○○○○	○○○○○ ○○○ ○○○○● ○○ ○○○○○○○○○	○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○	○○○ ○○ ○○ ○○ ○○ ○○	○○○ ○○○ ○○ ○○ ○○ ○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

Suche 4: Dateien nach Hash finden

- Zugriff auf Magnet-Links¹¹ brauchte exakte Dateisuche.¹²
- Angepasstes Kademlia $\Rightarrow$ im Abschnitt zu Kademlia.

¹¹Magnet-Links liefern Infos für Downloads in leicht kopierbarem Link.

¹²kt=...: Suchanfrage, wurde kaum genutzt. Weiteres:

https://en.wikipedia.org/wiki/Magnet_URI_scheme#Design



Verteilung in Gnutella: Out-of-Band

Ursprünglich auf dem Suchpfad zurückgereicht, aber:

- 5 Schritte
- Durchschnittliche Lebensdauer eines Knotens:¹³ 2h
- => Abbruch nach durchschnittlich 24 Minuten

Daher: Download-Mesh, unabhängig von der Suche



¹³2h als Lebensdauer sind erstaunlich persistent. Aktuelles bei Freenet.



Verteilung: Download-Mesh

- Standard HTTP Range-Requests
- Content-Addressed: HOST/uri-res/raw/urn:sha1:HASH¹⁴
- 5 zusätzliche Header:¹⁵

X-Alt Bestätigte Quelle für die Datei, IP/Port

X-NAIt Unerreichbare Quelle oder Quelle mit Korruptierten Daten.
IP/Port

X-Gnutella-Content-URN Merkle-Tree Root-Hash

X-Thex-URI /uri-res/N2X?urn:sha1:HASH;MERKLE_TREE_ROOT

X-Available-Ranges bytes 0-10,20-30 (Beispiel)

¹⁴ <https://www.ietf.org/rfc/rfc2169.txt> und <http://www.nuke24.net/docs/2015/HashURNs.html>

¹⁵ http://rfc-gnutella.sourceforge.net/src/Partial_File_Sharing_Protocol_1.0.txt

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○	○○○○ ○○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○ ○○○ ○○○○○○○ ○○○ ●○○○○○○○	○○○ ○○○ ○○○ ○○○	○○○ ○○○ ○○ ○○ ○○	○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

Kommunikation: Schwachstelle

- Chat nie wirklich verlässlich
- Kein bleibender Kontakt zu anderen
- Funktionierend:
 - Was gibts Neues? (via LimeWire: Neueste Dateien sehen)
 - Sammlung durchsuchen (Alle freigegebenen Dateien sehen)



Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○○	○○○ ○○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○ ○○○ ○○○○○○○ ○○ ○●○○○○○○○	○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○	○○○ ○○ ○○ ○○ ○○	○○○ ○○○ ○○ ○○ ○○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

Störungsresistenz: Heuristiken als Spam-Filter

Ähnlich wie E-Mail-Spamfilter.

*Hat Spam auf 10-20% der Ergebnisse reduziert.*¹⁶

¹⁶Ginge so ein Webshop? Wer braucht welche Garantien?



Störungsresistenz: Objektvertrauen via Credence

- Jede korrekt bezeichnete Datei: 1.0
- Jede inkorrekt bezeichnete Datei: -1.0
- Wertungen anderer mit Korrelation der gemeinsamen Wertungen multipliziert.

→ <http://credence-p2p.org>

Wurde nie in ein Mainstream-Prgramm übernommen.

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○	○○○ ○○○○○○○○○○○○○	○○○○○ ○○○ ○○○○○ ○○ ○○○●○○○○○	○○○ ○○○ ○○○ ○○	○○○ ○○ ○○ ○○ ○○	○○○ ○○○ ○○ ○○ ○○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

Verbleibende Schwächen 2008

- 10-20% Spam-Ergebnisse trotz 50 Millionen Nutzer.
 - Credence nie weitverbreitet.
- Ein Schritt Flooding: Windows begrenzte Verbindungszahl.
- Parameter-Anpassungen beim Wachstum.
- Keine Kommentare, Peer-Chat wurde nie gut.

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent	Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○	○○○○ ○○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○ ○○○ ○○○○○○○ ○○ ○○○○●○○○○	○○○ ○○○ ○○○○○ ○○○	○○○ ○○ ○○ ○○ ○○		○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

Das Ende von Gnutella

2010: Die Zeit von Gnutella endete nicht durch technische Grenzen, sondern durch Klagen der Musikindustrie. Der Besitzer von LimeWire haftete mit seinem Privatvermögen. LimeWire bleibt freie Software, aber ohne große Verbreitung.¹⁷

Die entwickelte Technologie gerät in Vergessenheit.¹⁸

¹⁷Die Geschichte von LimeWire: <https://melmagazine.com/en-us/story/an-oral-history-of-limewire-the-little-app-that-changed-the-music-industry>

¹⁸Teile der Spezifikation: <http://rfc-gnutella.sourceforge.net/rfc-gnutella.zip> und https://web.archive.org/web/20070429042042/http://www.the-gdf.org/index.php?title=Main_Page

Einstieg ○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○	Grundprobleme ○○○ ○○○○○○○○○○○○○	Gnutella ○○○○○ ○○○ ○○○○○ ○○ ○○○○○●○○○	Kademlia ○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○	BitTorrent Downloads ○○○ ○○ ○○ ○○ ○○	Freenet ○○○ ○○○ ○○ ○○ ○○ ○○○○○○○	Abschluss ○ ○○○○○ ○○○
--	---------------------------------------	---	--	---	--	--------------------------------

Gnutella Routing Experiment

- Peers: Tisch + davor + dahinter
- Letzte 2 Hops
- Suche nach Namen
- Hash = 1. Buchstabe
- QRT¹⁹: Hash der Namen der Peers
- Intra-UP QRT: QRTs der Peers, zusammengefasst

Was müsst ihr vorher austauschen?

¹⁹QRT: Query Routing Table.



Zusammenfassung Gnutella

- Effiziente Suche nach Schlüsselworten
- TCP-basiertes Binärprotokoll, 50 mio Nutzer, 1kiB/s Leaf, 14kiB/s Ultrapeer
- Einstieg: WebCache-Server + Austausch QRT (wie Bloom-Filter)²⁰
- Suche: Slow-Start + QRT Routing
- Verteilung: Download-Mesh
- Störungsresistenz: Heuristik oder Objektbasiert

²⁰Set von schwachen Hashes der Suchwörter, Anzahl keys dynamisch skaliert und interpoliert

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○	○○○○ ○○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○ ○○○○○○○ ○○○○○○○ ○○○○○○○●○	○○○ ○○○○○ ○○○	○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○	○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

Projektideen

- Download-Mesh implementieren
 - Nur Range-Requests + magnet für Quellen
 - Quellen-Gossip via XAlt²¹
 - Mit Merkle-Tree oder hashliste für chunks und mit XNalt
- Suche über WebRTC in Javascript
 - flooding über vereinfachtes Binärprotokoll
 - QRP / QRT
 - Sharing als Upload in local storage
 - GGEP: Generic Gnutella Extension Protocol; Binarprotokoll für beliebige Daten.

²¹XAlt/XNalt: Header, der gute / kaputte Quellen beschreibt.

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○	○○○○	○○○○○○○	○○○	○○○	○○○	○
○○○○○○○	○○○○○○○○○○○○○	○○○	○○○	○○	○○○	○○○○○
○○○		○○○○○	○○○	○	○○○	○○○
○○○○		○	○○	○	○○○	
		○○○○○○○○●		○○	○○○○○○○	

PAUSE

--- PAUSE ---

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○	○○○ ○○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○ ○○○ ○○○○○○○ ○○ ○○○○○○○○○	●○○○ ○○○ ○○○ ○○	○○○ ○○ ○○ ○○ ○○	○○○ ○○○ ○○ ○○○ ○○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

Kademlia

Lookup in einer Verteilten Hash-Tabelle (DHT) mit xor-Metrik.

- Nutzersicht
- Suche
- Einstieg (*nutzt die Suche*)

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○○	○○○○ ○○○○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○ ○○○ ○○○○○○○ ○○ ○○○○○○○○○	○○●○ ○○○○○ ○○○ ○○	○○○ ○○ ○○ ○○ ○○	○○○ ○○○ ○○ ○○○ ○○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

Ziele

Sie verstehen die grundlegende Funktionsweise von Kademlia als Beispiel einer effizienten, dezentralen Hash-Suche.

Sie erkennen, wo die in Kademlia entwickelten Techniken sinnvoll genutzt werden können.

Einstieg ○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○○	Grundprobleme ○○○○ ○○○○○○○○○○○○○	Gnutella ○○○○○○○ ○○○ ○○○○○○○ ○○ ○○○○○○○○○	Kademlia ○○● ○○○○○ ○○○ ○○	BitTorrent Downloads ○○○ ○○ ○○ ○○ ○○	Freenet ○○○ ○○○ ○○ ○○ ○○○ ○○○ ○○○○○○○	Abschluss ○ ○○○○○ ○○○
---	--	--	---------------------------------------	---	--	--------------------------------

Sicht der Nutzer/-innen

Werkzeuge

Ursprünglich Tauschbörsen: Kad in aMule, VHT in Torrent clients
Amazon Dynamo verwendet das sehr ähnliche Chord.

Anwendung

- Suche nach exakten Dateien
- Löst Magnet-links auf
- Server-Auswahl zum Schreiben; eventual consistency

Suche in Kademlia

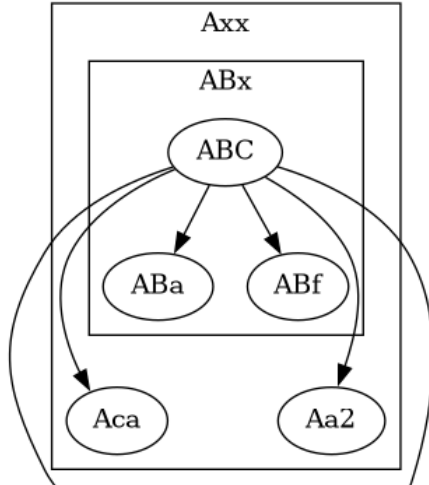
- Jeder Knoten hat eine zufällige ID
- Suche nach Hash → Distributed Hash Table
- Distanz zwischen Hash und ID via **xor-Metrik**²²
- Schritt für Schritt in $O(\log(N))$ zum richtigen Server



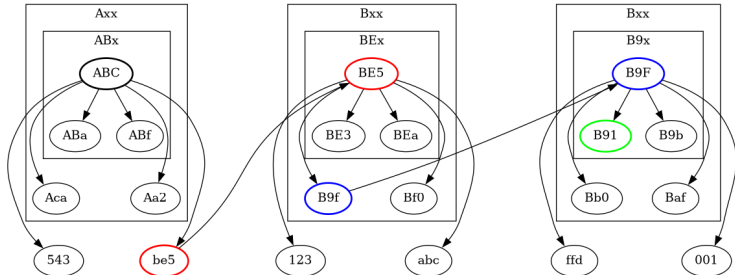
Ähnlich: Chord, Pastry.

²²xor-Metrik: $4 \text{ xor } 2 \Rightarrow 100 \text{ xor } 010 \Rightarrow 110 \Rightarrow 6$.

Präfix-Buckets



Suche nach b91



Speichern

- Suche nach Knoten nahe Hash.
- STORE: Hash + Wert.

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
o ooo oooo	ooo ooooo	ooooo ooo ooooo oo	ooo ooo ooo o	ooo oo oo oo oo	ooo ooo ooo ooo oooo	o oooo ooo

Einstieg in Kademlia

- Kontakt zu mindestens einem bestehenden Knoten.
- Suche nach eigener ID: FIND_NODE (nah = zuständig für ID)
- Erhält Adressen + IDs der am nächsten liegenden Knoten
- Angefragte Knoten behalten auch die eigene Adresse und ID.





Kademlia Routing-Experiment, Einstieg

IDs nach Sitzplatz:

11	-	-	-	-	-	-	-	-	(Fenster)
10	-	-	-	-	-	-	-	-	
01	-	-	-	-	-	-	-	-	
00	-	-	-	-	-	-	-	-	
	000	001	010	011	100	101	110	111	
	(Tür)			(Pult)					

Präfix-Buckets (E=Eigener Bitwert):

	1	4	4	2	1
EEEEEx	EEEExx	EExxx	Exxxx	xxxxx	

Kademlia Routing-Experiment, Suche

- ID berechnen (vereinfacht: zufällig²³)
- Name in ID speichern.
- Andere Person: Name abfragen

²³ ⇒ shared state, global; in Realität stattdessen: Hash.

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○○	○○○○ ○○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○ ○○○ ○○○○○○○ ○○ ○○○○○○○○○	○○○ ○○○ ○○○ ●○	○○○ ○○ ○○ ○○ ○○	○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

Projektideen

-
-
-
-
-

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○○	○○○○ ○○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○ ○○○ ○○○○○○○ ○○ ○○○○○○○○○	○○○ ○○○ ○○○○ ○○○ ○●	○○○ ○○ ○○ ○○ ○○	○○○ ○○○ ○○ ○○ ○○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

Zusammenfassung

- Distanz: key-hash XOR node-ID
- Suche: Nächstgelegenen bekannten Knoten nach besseren Knoten fragen
- Kennt mehr nahe als entfernte Knoten
- Speichern wie Suchen
- Einstieg:
 - Suche nach eigener ID
 - Erreichte Knoten nutzen Adresse und ID

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○○	○○○○ ○○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○ ○○○ ○○○○○○○ ○○ ○○○○○○○○○	○○○ ○○○○○ ○○○ ○○	●○○ ○○ ○○ ○○ ○○	○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

BitTorrent

- Verbreitetste Lösung für Swarming
- BitTorrent, IPFS, Blizzard-Updater
- Upload für schnelleren Download
- Koordiniert durch Tracker
- Keine Suche

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○○○	○○○○ ○○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○ ○○○ ○○○○○○○ ○○ ○○○○○○○○○	○○○ ○○○ ○○○○○ ○○○ ○○	○●○ ○○ ○○ ○○ ○○	○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

Ziele

- Sie kennen die grundlegende Funktionsweise von BitTorrent.
- Sie verstehen, wo BitTorrent durch teilweise Zentralisierung Komplexität vermeidet.
- Sie können erklären, warum Torrent für Twitter keine optimale Wahl war, trotzdem aber Faktor 100 schneller, als die vorherige Lösung.

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○	○○○○ ○○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○ ○○○ ○○○○○○○ ○○ ○○○○○○○○○	○○○ ○○○ ○○○○○ ○○○ ○○	○○● ○○ ○○ ○○ ○○	○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

Sicht der Nutzer/-innen

- Informationen von Tracker-Seiten
- Download mit torrent-Datei oder Magnet-Link
- Unterstützt Ordner
- Heute: ipfs: Webseiten über Bittorrent
- NAT-Traversal und IP Verschleiern über Tor

Konzept von BitTorrent

Struktur



Tracker: Webseite

- Koordiniert Schwärme
- Suche, Foren, Bewertung, Verifizierung, Gemeinschaft
- Statistiken: Seeder, Leacher
- Liefert keine Daten
- Aggregiert, wer wie viel hochlädt -> Anreiz



Torrent-Datei

- Tracker URL(-s)
- Hashes für Chunks
- Namen der Datei(-en)
- Kann Ordner enthalten²⁴



²⁴ http://www.bittorrent.org/beps/bep_0003.html

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○○	○○○○ ○○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○ ○○○ ○○○○○○○ ○○ ○○○○○○○○○	○○○ ○○○ ○○○○○ ○○○ ○○	○○○ ○○○ ○○○ ●○ ○ ○○	○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

Anreiz zum Hochladen

- Uploadverhältnis wird geprüft
- Freeloader²⁵ werden von anderen clients gedrosselt (choked: niedrigere Downloadrate)
- In Literatur ist der Anreiz im Vergleich zu anderen Themen stark vertreten, in der Praxis sind die angebundenen Foren wichtig

²⁵Freeloader: Leute, die nichts hochladen. Auch „Leech“. Gegenteil: „Seed“.

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○○	○○○○ ○○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○ ○○○ ○○○○○○○ ○○ ○○○○○○○○○	○○○ ○○○ ○○○○○ ○○○ ○○	○○○ ○○○ ○● ○ ○○	○○○ ○○○ ○○ ○○ ○○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

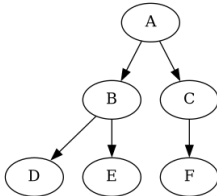
Weiteres

- VHT statt Tracker möglich (Kademlia)
- Freies Protokoll mit vielen Implementierungen
- Weiterentwicklung in der Community
- IPFS nutzt Torrents für dezentral gecachte Webseiten

Torrent für Twitter-Deployment

- Kosten bei Twitter: Übertragung über viele Schritte
- Torrent überträgt in Fragmenten.

Wunsch

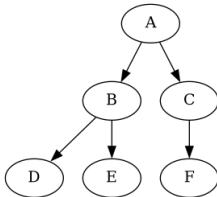


Cut-through routing / streaming.

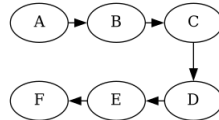
Torrent für Twitter-Deployment

- Kosten bei Twitter: Übertragung über viele Schritte
- Torrent überträgt in Fragmenten.

Wunsch



Wirklichkeit



cat ... ssh tee ...

Cut-through routing / streaming.

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○○	○○○○ ○○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○ ○○○ ○○○○○○○ ○○ ○○○○○○○○○	○○○ ○○○ ○○○○○ ○○○ ○○	○○○ ○○ ○○ ○○ ○ ●○	○○○ ○○○ ○○○ ○○ ○○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

Projektideen

-
-
-
-
-

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○○	○○○ ○○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○ ○○○ ○○○○○○○ ○○ ○○○○○○○○○	○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○	○○○ ○○ ○○ ○○ ○○ ○●	○○○ ○○○ ○○ ○○ ○○○ ○○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

Zusammenfassung

- Tracker und Clients
- Tracker: Statistiken und Koordination
- Torrent-Datei mit Chunk-Infos

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○	○○○○ ○○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○ ○○○ ○○○○○○○ ○○ ○○○○○○○○○	○○○ ○○○ ○○○○○ ○○○ ○○	○○○ ○○ ○○ ○○ ○○	●○○ ○○○ ○○ ○○ ○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

Freenet/Hyphanet

Zensur-Resistente Kommunikation auf Freund-zu-Freund Netzwerk

Dezentrale Datenbank mit pubkey-Zugriff

- Ziele
- Verwendung
- Einstieg
- Small-World
- Suche
- Verteilung
- Mutability
- Kommunikation
- Schnittstellen

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○○○	○○○○ ○○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○ ○○○ ○○○○○○○ ○○ ○○○○○○○○○	○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○	○○○ ○○ ○○ ○○ ○○	●●○ ○○○ ○○ ○○ ○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

Ziele für den Freenet-Abschnitt

- Sie kennen Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen Kademlia und Freenet
- Sie erkennen feste Freund-zu-Freund Verbindungen
- Sie erkennen die Small-World-Anforderung
- Sie verstehen, wie Freenet Daten versioniert und neue Versionen findet, ohne existierende Daten ändern zu können
- Sie kennen die dezentrale Spam-Abwehr in Freenet

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○○	○○○○ ○○○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○ ○○○ ○○○○○○○ ○○ ○○○○○○○○○	○○○ ○○○ ○○○○○ ○○○ ○○	○○○ ○○ ○○ ○○ ○○	○○● ○○○ ○○ ○○ ○○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

Verwendung

- Web-Schnittstelle
- Plugins mit E-Mail
- Externe Programme wie Chat und Foren mit Freenet als Datenbank via HTTP-ähnlicher API (FCP)



Einstieg in Freenet

■ Opennet:

- Ähnlich Kademia: Wähle bekannte Seednode²⁶, Seednode sucht nach ID → Referenzen
- Unterschied zu Kademia: Nicht nur IP, sondern Referenz mit Schlüssel

■ Friend-to-Friend:

- Feste Verbindungen
- Knoten tauschen ihre IDs, um das soziale Small-World-Netzwerk zu rekonstruieren
⇒ Overlay-Kosten minimieren.



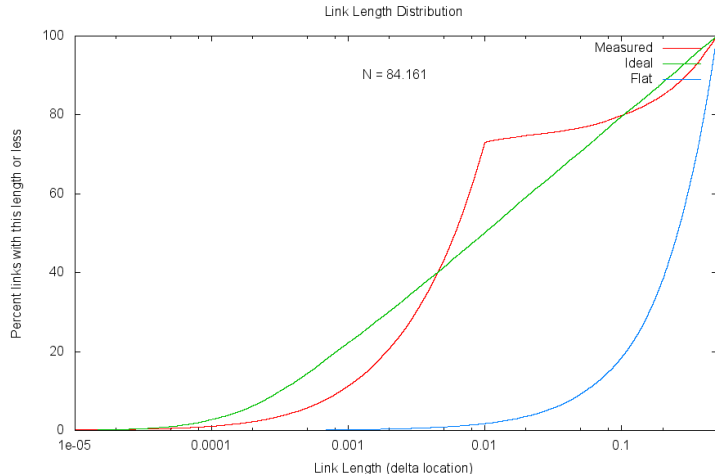
²⁶Seednode: Bekannter Knoten, der Verbindungen zu anderen vermittelt.



Small-World-Netzwerk (skalenfreies Netzwerk)

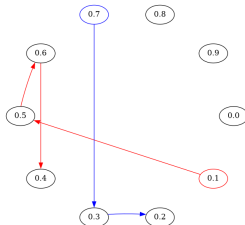
- Viele kurze und wenige lange Verbindungen.
- 6 degrees of separation via Post: Unsere Bekanntschaften bilden ein small-world Netzwerk
- Kleinberg-Netzwerk: Wahrscheinlichkeit verbunden zu sein: $\frac{1}{d^x}$,
d = Distanz, x = Dimension.
- Freenet: x = 1

Theoretische und gemessene Link-Längen



Freenet Suche

- Wie Kademia, aber hop für hop weitergeleitet → keine Globale Erreichbarkeit oder Sichtbarkeit
- Suche nach public key möglich
- Keyspace: $[0.0 : 0.1)$



Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○○	○○○○ ○○○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○ ○○○ ○○○○○○○ ○○ ○○○○○○○○○	○○○ ○○○ ○○○○○ ○○○ ○○	○○○ ○○ ○○ ○○ ○○ ○○	○○○ ○○○ ○○○ ●○○ ○○○ ○○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○○

Arten von Schlüsseln

- CHK: Content Hash
- KSK: Keyword Subspace: Passwort
- SSK: Signed Subspace: Public Key
- USK: Updatable Subspace: SSK mit Version

Format:

XXK@routing,encryption/tarball-name/path/to/file.ext

Ohne Pfad und Name möglich (kleiner → Optimierung).



Verteilung in Freenet

- Netz speichert Inhalte → verteilter Cache
- Dateien verschlüsselt, als 32 kiB Fragmente mit 100% Redundanz abgelegt
- Manifest enthält Schlüssel der Fragmente als CHKs
- Effektiv LRU-Cache:²⁷
 - Speichern überschreibt zufällig gewählte Fragmente
 - Zugriff stellt überschriebene Fragmente wieder her
- Upload auf existierenden Schlüssel+Pfad: Kollision
→ In der Praxis immutable



²⁷LRU: Least Recently Used. Ältestes wird zuerst gelöscht.



Freenet als Datenbank

- Suche nach Public Key + Pfad
- → persönlicher Keyspace
- → tarballs für strukturierte Daten
- → pub-sub-Protokolle auf dezentraler Datenbank
- → Webseiten, Foren, Chat, ...

1 Minute Round-Trip-Time

Optimierung: Schlüssel Abonnieren, um 10k Schlüssel zu beobachten und Updates schnell zu sehen.

Swapping: Friend-to-Friend wird Small World

9 4 **3**

5 2 8

1 6 7

6 **4** 9

5 2 8

1 3 **7**

3 4 9

5 2 8

1 **6** 7

6 7 9

5 2 8

1 3 4



Spam-Abwehr

WoT (Web of Trust): Eine von zwei praktisch genutzten Möglichkeiten. Die andere ist FMS (Freenet Message System).

- ID = USK
- Trust -100 bis 100
- Rank: Distanz → capacity
- Score: Summe über alle Wertungen: $\text{trust} * \text{rank}$
- Skaliert bei 22 Nachrichten pro Tag und Person²⁸

²⁸ <https://www.draketo.de/english/freenet/deterministic-load-decentralized-spam-filter>



Schnittstelle: Web

- Browse
- Hoch-/Herunterladen
- Plugins
- Freund-zu-Freund-Nachrichten
- Lesezeichen mit Update-Info (5 min Latenz)



Schnittstelle: FCP

Async für Programme:

- Put/Putdir/Get
 - Password: KSK@...
 - Inhalt: CHK@.../datei.endung
 - Schlüssel: SSK@pubkey/ordner/datei
 - Updatable: USK@pubkey/ordner/version/datei
- Subscribe to key
- Plugins kontrollieren



Latenz in der Praxis

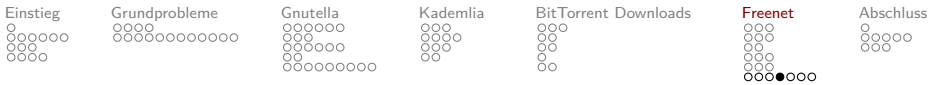
- Bis zu 1kiB, raw, realtime mode: <30s
- Große Dateien, im Manifest: ~5 min

Realtime

```
PriorityClass . 2 ;; high
MaxRetries . 0 ;; default: 10
RealTimeFlag . true
DontCompress . true
ExtraInsertsSingleBlock . 0
ExtraInsertsSplitfileHeaderBlock . 0
```

Bulk

```
PriorityClass . 3 ;; medium
RealTimeFlag . false
DontCompress . false
```



Kommunikation über Freenet

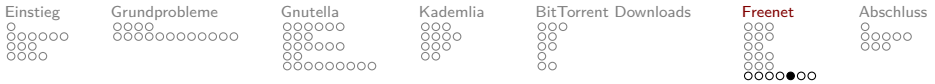
- Einstieg: Seed-keys + Captcha²⁹-Queue: KSK-Prefix
- Suche: Nutzerspezifische Seiten mit Links, Update-Infos
- Verteilung: Gossip³⁰ keys, Dateien einfach hochladen
- Störungsresistenz: Web of Trust mit langsam steigender Sichtbarkeit

Autospawn node => Freenet als Backend, unsichtbar

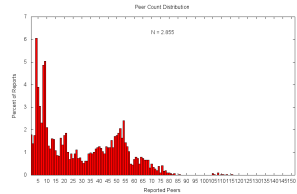
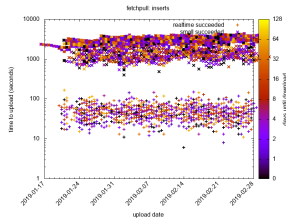
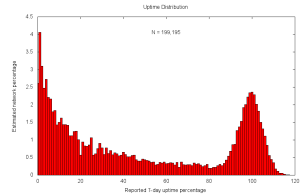
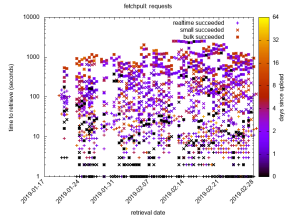


²⁹CAPTCHA: Meist Bilder, auf denen Zeichen erkannt werden müssen, um automatische Systeme auszuschließen.

³⁰Gossip: Informationen während normaler Kommunikation von Knoten zu Knoten verteilen.



Stats



Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○○	○○○○ ○○○○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○ ○○○ ○○○○○○○ ○○ ○○○○○○○○○	○○○ ○○○ ○○○○○ ○○○ ○○	○○○ ○○ ○○ ○○ ○○ ○○	○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○○○●○	○ ○○○○○ ○○○

Projektideen

-
-
-
-
-



Zusammenfassung

- Einstieg: Suche nach meiner ID bei Seednode
- Suche: Greedy Hash auf Small World
- Verteilung: Chunk-Tree mit Redundancy
- Kommunikation:
 - Einstieg: Seed-keys + CAPTCHA-Queue
 - Suche: Index-Seiten, Update-Erkennung
 - Verteilung: Dateien hochladen, Webseiten
 - Propagating Trust mit langsam steigender Sichtbarkeit

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○	○○○ ○○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○ ○○○ ○○○○○○○ ○○ ○○○○○○○○○	○○○ ○○○ ○○○○○ ○○○	○○○ ○○ ○○ ○○ ○○	○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○○○○○	●○○○○○ ○○○

Verschiedenes

- Queuing
- Magnet-Links
- WebRTC
- Verstreutes
- Aktuelles
- Zusammenfassung

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent	Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○	○○○ ○○○○○○○○○○○○○	○○○○○ ○○○ ○○○○○ ○○○ ○○○○○○○	○○○ ○○○ ○○○○○ ○○○	○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○		○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○○○○○	○ ●○○○○ ○○○

Queuing in p2p-Netzen

- Alle Upload-Warteschlangen sind immer voll
- Queuing-Strategien bestimmen, welche Dateien gut funktionieren
- FIFO Dateien: Große blockieren kleine (wie Alben in Musik-Spiellisten)
- FIFO Chunks: Overhead durch Ständigen Auf- und Abbau von Verbindungen
- HRRN: Große Dateien müssen warten, stört Preview
- Komplexer: Torrent-Superseed u.ä.

Magnet-Links

```
magnet:?xt=urn:bitprint:TIGER_TREE.SHA1
&xt=urn:btih:BITTORRENT_INFO_HASH
&xt=urn:sha1:HASH
&x1=LENGTH
&dn=NAME
&as=LINK_WITHOUT_HASH
&xs=LINK_WITH_HASH
&kt=SEARCH_STRING
```

*Netzwerk-unabhängig, Link zu HTTP und p2p-Quellen,
weitverbreitet*

WebRTC

- Läuft im Browser (Javascript)
- Liefert Audio, Video, . . . , und **Peer-Socket**
- Erste Verbindung vom Server moderiert – erspart praktische Probleme
- p2p-Systeme, die nicht installiert werden müssen
- Beispiel: WebTorrent <https://webtorrent.io/>



Verstreutes

- Optimierung für Netzbetreiber oft angedacht: Clients im gleichen (Sub-)Netz bevorzugen Bei Gnutella „p4p“. Bei Pastry (Windows) laut Ghosh umgesetzt.
- Beispiel für non-greedy routing³¹: Random Walk in ants (Programm). Nicht durchgesetzt.
- Geld auf Probleme werfen: MaidSafe hatte 2000\$ Hardwarekosten pro Monat. 2019 abgeschaltet.³² Freenet hat <20\$ pro Monat Kosten.

³¹Greedy-Routing: Anfragen mit rein lokaler Information an den am besten passenden Knoten weiterleiten.

³²Quelle: https://www.reddit.com/r/safenetwork/comments/erpvee/dumb_question_is_safe_live/

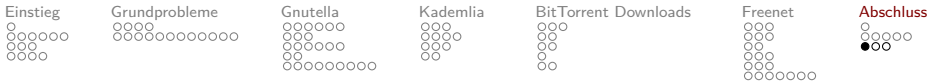
Aktuelles

Was gerade jetzt passiert:

- Spritely Golem: p2p distributable content for the fediverse³³
- Decentralized Internet and Privacy at FOSDEM³⁴
 - DAT, GNUnet, Fediverse, Tor, ...
- In Karlsruhe: 21. Gulaschprogrammierenacht:
<https://entropia.de/GPN21> 8. bis 11. Juni 2023

³³ <https://gitlab.com/spritely/golem/blob/master/README.org>

³⁴ <https://fosdem.org/> — viele Vorträge zu decentralization, privacy, ...



Zusammenfassung: Grundprobleme

- **Einstieg:** Wie finde ich meinen Platz im Netz?



- **Suche:** Wo gibt es, was ich brauche?



- **Störungsresistenz:** *Wie skaliert Gewünschtes besser als Unerwünschtes?*

- **Verbreitung:** Wie vermeide ich Flaschenhälse?



- **Kommunikation:** Wie fließen Informationen durchs Netz?





Zusammenfassung: Implementierungen

	Einstieg	Suche
Gnutella	WebCache	Slow-Start + Keyword-Multicast
Kademlia	Suche nach eigener ID	xor-Hash-Hierarchie
BitTorrent	Tracker-URL	Kademlia / Tracker / Web
Freenet	Seed-Nodes suchen ID	Greedy Hash auf Small World
WebRTC	WebRTC Server	-
	Verteilung	Störung
Gnutella	Alt+NAlt, Range, Merkle-Tree	Heuristik/Credence
Kademlia	<i>unterschiedlich</i>	-
BitTorrent	Torrent	Wertung auf Tracker
Freenet	Chunk-Tree with Redundancy	Propagating Trust
WebRTC	-	-

Einstieg	Grundprobleme	Gnutella	Kademlia	BitTorrent Downloads	Freenet	Abschluss
○ ○○○○○○○ ○○○ ○○○	○○○○ ○○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○ ○○○ ○○○○○○○ ○○ ○○○○○○○○○	○○○ ○○○○○ ○○○ ○○	○○○ ○○○ ○○ ○○ ○○	○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○ ○○○○○○○	○ ○○○○○ ○○●

Viel Erfolg beim Projekt!



Ich wünsche mir, dass einige von Ihnen
in 5 Jahren zurückblicken und sagen:

*Was ich in verteilte Systeme über p2p-Netze gelernt habe,
war einer der Grundsteine meines Erfolges.*

Verweise I

Mueller, P. A. and Oppenheimer, D. M. (2014). The pen is mightier than the keyboard: Advantages of longhand over laptop note taking. *Psychological Science*, 25(6):1159–1168. PMID: 24760141.

Sana, F., Weston, T., and Cepeda, N. J. (2013). Laptop multitasking hinders classroom learning for both users and nearby peers. *Computers & Education*, 62:24 – 31.

Bilder:

Merkle Tree Patent 1982

<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/022107098/publication/US4309569A?q=pn%3DUS4309569>

Eingereicht 1979 als Methode Diffie-Authentication günstiger zu machen.