

Peer-to-Peer Netzwerke in der Praxis

Alexander Bach

18. Juni 2010

1 Einleitung

Inzwischen gibt es im Internet sehr viele und auch sehr unterschiedliche Peer-to-Peer Netzwerke, die zu ebenso unterschiedlichen Zwecken genutzt werden. Die folgenden Abschnitte sollen zunächst einführend kurz vorstellen, welche Arten von Peer-to-Peer Netzwerken es gibt und im Anschluss daran einen Überblick darüber geben, wie diese heute im Internet genutzt werden. Es wird weiterhin untersucht, welche Art von Peer-to-Peer Netzwerk einem Service zu Grunde liegt und welches Kommunikationsmodell dabei zum Einsatz kommt.

2 Peer-to-Peer Netzwerke

Peer-to-Peer Netze können sich sehr wesentlich von der klassischen Client/Server-Struktur unterscheiden. Sie zeichnen sich im Gegensatz zu dieser besonders durch ihre Vielseitigkeit aus. So kann ein Peer-to-Peer Netz helfen Ressourcen zu sparen, es kann zum Routing benutzt werden und es kann helfen Redundanz, Stabilität und Ausfallsicherheit zu schaffen¹. Die tatsächlichen Nutzer eines Peer-to-Peer Netzwerks können vom ihm “abstrahiert” werden, d.h. ein solches Netzwerk kann als Service angeboten werden.

¹Es ist durchaus möglich mehrere dieser Eigenschaften in einem einzigen Netzwerk zu vereinen

2.1 Unstrukturierte Peer-to-Peer Netzwerke

Die genaue Topologie eines unstrukturierten Peer-to-Peer Netzwerkes ist niemandem zur Gänze bekannt. Das macht sie zum einen weniger angreifbar, zum anderen jedoch auch ineffizient in der Nutzung.

2.1.1 Zentralisierte Peer-to-Peer Netzwerke

Das wahrscheinlich bekannteste unstrukturierte Peer-to-Peer Netz war Napster². Hierbei gab es einige wenige zentrale Server, welche die von den Clients zur Verfügung gestellten Dateien indizierten. Ein Client konnte also ganz analog zum Aufruf einer Webseite einen zentralen Server nach einer Datei befragen und erhielt von ihm als Antwort die Adresse des Clients, der die gewünschte Datei zum Tausch bereithielt. Im Anschluss wurde zu diesem Client eine Verbindung aufgebaut und die gewünschten Daten direkt ausgetauscht, ohne Umweg über den zentralen Server.

Der Einstieg ins Netzwerk gelang wie folgt: Ein neuer Client meldet sich beim zentralen Server an und gibt ihm daraufhin bekannt, welche Dateien er anbietet.

Dieser Aufbau ist jedoch kaum skalierbar, die zentralen Server bilden hierbei den Flaschenhals, denn je mehr Inhalte die Clients im Netzwerk anbieten, desto größer wird der zentrale Index, was zu hohen Kosten führen kann.

Auch gegen Angriffe und Ausfälle ist diese Strukturierung nicht optimal, da ein Ausfall oder erfolgreicher Angriff gegen die zentralen Server das gesamte Netzwerk inoperabel machen.

Als positiver Aspekt ist die Suchgeschwindigkeit hervorzuheben, denn ob die Anfrage eines Clients nach einem bestimmten Inhalt im Netzwerk positiv beantwortet werden kann, ist mit einer simplen Anfrage an die zentralen Server geklärt.

Sämtliche Kommunikation in einem zentralisierten Peer-to-Peer Netz wird über Punkt-zu-Punkt Verbindungen abgewickelt.[6, Kap. 2.1][7, Kap. 5.2]

²Inzwischen wurde Napster als legales Musik-Downloadportal relauncht.

2.1.2 Reine Peer-to-Peer Netzwerke

Die reinen Peer-to-Peer Netzwerke kommen im Gegensatz zu den zentralisierten Netzen ohne dedizierte Server aus. Lediglich für den Bootstrap-Prozess ist ein Server notwendig, welcher neuen Clients den Einstieg erleichtert indem er ihnen die nötigen Daten zur Verbindung zu anderen Clients übermittelt³. Ein Beispiel hierfür ist das frühe Gnutella Netzwerk bis einschließlich Version 0.4.

Eine Suchanfrage wird hier mit einem Multicast-Kommunikationsmodell realisiert: Die Anfrage wird zusammen mit allen relevanten Daten an alle bekannten Peers im Netz geschickt, diese wiederum tun dasselbe und verringern dabei die TTL⁴ des Pakets. Wenn die Anfrage einen Treffer landet, so wird die Antwort auf demselben Weg zurück geschickt, den die Anfrage genommen hat. Das ist in den allermeisten Fällen nicht die kürzeste oder schnellste Antwort, was zu langen Antwortzeiten und langsamen Verbindungen unter den Clients führt. Des Weiteren kann mit dieser Methodik auch keine Garantie dafür gegeben werden, dass die gesuchten Inhalte auch aufgefunden werden können, da die Anfrage verworfen werden könnte, bevor diese den Client mit dem Inhalt erreicht. So kommt es oft vor, dass seltene oder unpopuläre Inhalte wesentlich schwerer zu beziehen sind als populäre, obwohl in beiden Fällen dasselbe Netzwerk zum Einsatz kommt. Das Besondere hierbei ist, dass sich nur Clients untereinander Unterhalten, da sie sowohl das Netzwerk nutzen als auch ihre Dienste dafür bereitstellen. Sie sind also Server und Client gleichzeitig⁵.

Der Vorteil keine zentralen Server zu haben liegt dabei klar auf der Hand: Es gibt keinen Single-Point of Failure. Dadurch wird das gesamte System weniger anfällig für Fehler und Angriffe.

Reine Peer-to-Peer Netzwerke skalieren zwar besser als solche mit zentralen Servern, aber dennoch nicht beliebig. Durch die meist ungünstigen

³Dieser Prozess könnte theoretisch auch manuell von statten gehen, sodass selbst ein Bootstrap-Server nicht nötig ist. Um der Komfortabilität willen existieren sie jedoch meistens dennoch.

⁴Time to Live = Anzahl an Hops bis das Paket verworfen wird

⁵Dafür wurde das Kofferwort Servent geprägt.

Routen, welche von den Paketen beim Verbindungsaufbau genommen werden und das Flooding, welches zum Finden von Inhalten nötig ist, wird wesentlich mehr Traffic erzeugt als im Optimalfall nötig wäre.[6, Kap. 2.1][7, Kap. 5.3]

2.1.3 Hybride Peer-to-Peer Netzwerke

Hybride Peer-to-Peer Netzwerke vereinen, wie der Name bereits vermuten lässt, Teile von zentralen und reinen Netzen. Das besondere hierbei ist, dass einige wenige Clients, welche entweder von vorn herein bestimmt sind oder aber z.B. mit Hilfe von Leistungsdaten (bzgl. der Verbindung) ermittelt werden, ein reines Peer-to-Peer Netz bilden und ihnen jeweils ein gleicher Teil der anderen Clients zugeordnet wird⁶.

Beispiele hierfür sind das neuere Gnutella Netzwerk, sowie das Gnutella2 Netzwerk.

Beim Verbindungsaufbau zu einem Netzwerk wie diesem muss zunächst ermittelt werden, ob der sich verbindende Client Teil des inneren Netzes wird, wenn ja funktioniert die Anmeldung analog zur Anmeldung in reinen Peer-to-Peer Netzwerken. Im anderen Fall kommt eine Anmeldung zum Einsatz, wie sie bereits von Netzen mit zentralen Servern bekannt ist.

Wenn nun ein Client eine Anfrage stellt, so wird diese zunächst an den nächsten Knoten des inneren Netzes weitergeleitet, dem er unterstellt ist (Unicast). Dieser befragt nun alle Teilnehmer des inneren Netzes nach dem gewünschten Inhalt (Multicast) und übermittelt dann die erhaltenen Antworten zusammen mit den relevanten Daten, über die er selbst verfügt, zurück zum anfragenden Client (Unicast). Jetzt kann, im Falle eines Treffers, der Client sich zu einem der anderen Teilnehmer des Netzes verbinden (Unicast) und direkt von ihm den gewünschten Inhalt erhalten. Dieser kann sich dabei an einer beliebigen Stelle innerhalb des Netzwerks befinden.

Durch das Einfügen einer Abstraktionsschicht (dem inneren Netz) kann, gegenüber den reinen Peer-to-Peer Netzwerken, einiges an Bandbreite gespart werden, was dadurch zustande kommt, dass mit wesentlich weniger

⁶Die Clients des inneren Peer-to-Peer Netzes haben meist besondere Bezeichnungen wie Superseed oder Superpeer

Hops mehr Teilnehmer erreicht werden können und somit kleinere TTL-Werte für die Pakete gewählt werden können. Dadurch wird natürlich implizit die Skalierungsfähigkeit des Netzes verbessert, wobei zu bemerken ist, dass der dadurch gewonnene Vorteil mit dem Netzwerk wächst.[6, Kap. 2.1][7, Kap. 5.4]

2.2 Strukturierte Peer-to-Peer Netzwerke

Die am weitesten verbreitete Art von strukturierten Peer-to-Peer Netzwerken sind jene, die sich auf sog. Distributed Hash Tables⁷ (DHT) stützen. Dies ist zweifelsohne aufgrund des BitTorrent-Protokolls so, dem große Teile des Traffics im Internet zugeschrieben werden.

Bei einer verteilten Hashtabelle werden Inhalte, meistens als Integer-Werte kodiert, auf die Clients abgebildet, die sie bereithalten. Das Besondere hierbei ist, dass es keine zentrale Instanz gibt, die diese Hashtabelle zum Abruf durch Clients bereithält. Stattdessen verwalten die Clients, die das Netzwerk bilden, in dem die verteilte Hashtabelle genutzt werden soll, diese selbst. Hierzu wird jedem Client ein Teil der Tabelle zugewiesen den er zu verwalten hat. Zu diesen Aufgaben gehört das Entdecken und Einordnen neuer Inhalte, das regelmäßige Überprüfen der gelisteten Inhalte hinsichtlich ihrer Verfügbarkeit, sowie das Entfernen von Einträgen, die sich auf Inhalte beziehen, die nicht mehr verfügbar sind.

Um als neuer Teilnehmer einem DHT-basierten strukturierten Peer-to-Peer Netzwerk beitreten zu können, muss zunächst die Adresse eines Knotens in Erfahrung gebracht werden, der bereits Teil des Netzes ist. Anschließend gibt es zwei mögliche Vorgehensweisen, den nächsten Schritt abzuschließen: Entweder organisiert jener erste Knoten die Teile der verteilten Hashtabelle, für die der Neueinsteiger sich ab sofort verantwortlich zeichnet oder ihm wird Gelegenheit gegeben, selber einen Teil der DHT zu wählen und diesen fortan zu verwalten. Abschließend müssen die vorgehaltenen Routinginformationen der Knoten angepasst werden, was impliziert, dass Neuling von den zuvor zuständigen Peers jene Teile der DHT erhält, die er fortan zu verwalten hat.

⁷Verteilte Hashtabelle

Wie das Routing für eine konkrete Anfrage im Detail von statten geht, hängt von dem an dieser Stelle arbeitenden Algorithmus ab. Dieser kann je nach Bedarf auf unterschiedlichen Metriken basieren, z.B. der geographischen Distanz der Knoten untereinander, der Distanz der Knoten bezogen auf ihre Position innerhalb des Netzwerks oder andere für bestimmte Zwecke maßgeschneiderte Metriken.

Viele der Algorithmen unterstützen ein primitives Interface, welches das Suchen nach einem Schlüssel ermöglicht, sowie das veröffentlichen von neuen Inhalten als Schlüssel-Inhalt-Paar. Dadurch ist es in einigen Fällen möglich, den benutzten Routing-Algorithmus auszutauschen ohne dabei Änderungen am Rest des Netzwerks vornehmen zu müssen.

Wenn in einem unstrukturierten Netzwerk ein Client das Netz verlässt, so sind seine Inhalte nicht mehr im Netz verfügbar und andere Clients können keine Verbindungen mehr zu ihm aufbauen. In einem strukturierten Netzwerk hat das jedoch noch weitere Konsequenzen, denn das Trennen eines Clients vom Netzwerk führt dazu, dass die Struktur auf der es sich stützt, angepasst werden muss. Im Falle einer absichtlichen Trennung vom Netzwerk kann der entsprechende Knoten zuvor einem (oder auch mehreren, je nach Protokoll) anderen Knoten darüber Bescheid geben, sodass noch vor der endgültigen Trennung die DHT angepasst werden kann, um die Integrität des Netzes besser gewährleisten zu können.

Die Vorteile eines DHT-basierenden, strukturierten Netzes sind beträchtlich gegenüber unstrukturierten Netzen: Das Ausfallen eines Superpeers in einem hybriden, oder das Ausfallen eines zentralen Servers in einem zentralisierten Peer-to-Peer Netz kann schwerwiegende Folgen haben. Ein strukturiertes DHT-basiertes Netzwerk hingegen bietet hier die Ausfallsicherheit eines reinen Peer-to-Peer Netzwerks. Das reine Peer-to-Peer Netz hat jedoch die geringste Effizienz von allen hier vorgestellten Netzwerken, das strukturierte Netz dagegen kann dank dem möglichen Routing besser abschneiden. Aus diesem Grund skaliert ein strukturiertes Netz auch besser als die anderen unstrukturierten, dazu trägt sicherlich auch bei, dass sämtliche Kommunikation innerhalb eines DHT-Netzes punktgerichtet stattfindet.[6, Kap. 2.2][7, Kap. 7.2-7.4]

3 Praktischer Einsatz von Peer-to-Peer-Netzen

Im nachfolgenden Abschnitt sollen einzelne Peer-to-Peer Netzwerke bzw. Applikationen, die sich solcher bedienen, untersucht und in obige Kategorien eingeordnet werden.

3.1 BitTorrent

BitTorrent ist eines der, wenn nicht gar das, am meisten verbreitete Peer-to-Peer Protokoll, welches für Filesharing eingesetzt wird. Hierbei werden für die Dateien, die zum Tausch bereit gestellt werden sollen, kleine .torrent-Dateien erstellt, welche lediglich Metainformationen enthalten.

Neben obligatorischen Informationen wie Namen und Größe der Dateien wird ausserdem eine Tabelle angelegt, in der für jeden Teil der Datei ein Hashwert eingetragen ist.



Abbildung 1: BitTorrent Logo[2]

Die Datei wird so in viele kleine, gleich große Teile zerlegt, deren Integrität mit je einem Hashwert gesichert ist. Anschließend muss der Torrent bei einem sogenannten Tracker veröffentlicht werden, damit andere Clients die Datei beziehen können. Ein Tracker kann hierbei ein dedizierter Server sein oder aber die verteilte Hashtabelle eines strukturierten Peer-to-Peer Netzwerks. Er hat die Aufgabe, neuen Clients den Bootstrap-Prozess zu vereinfachen. Ausserdem verfolgt er welche Clients einen bestimmten Torrent haben. Die meisten Tracker bieten desweiteren die Möglichkeit, die von ihnen überwachten Torrents zu durchsuchen und direkt aus den Suchergebnissen in das Peer-to-Peer Netzwerk einzusteigen.

Wenn nun ein bestimmter Inhalt mit Hilfe des BitTorrent Protokolls bezogen werden soll, muss zunächst ein entsprechender Torrent von einem Tracker geholt werden. Dieser kann dann von einem passenden Programm, welches das BitTorrent Protokoll implementiert, ausgelesen werden und es kann eine Verbindung zum entsprechenden Client hergestellt werden. Der gewünschte Inhalt wird nun stückchenweise, wie im Torrent definiert, bezogen. Während dies geschieht werden die bereits fertig übertragenen Stückchen

schon anderen Clients angeboten die ebenfalls denselben Inhalt beziehen wollen. Dadurch wird der Client, welcher den Inhalt zuerst angeboten hat, nach und nach entlastet, bis alle Teile im Umlauf sind. Ab diesem Zeitpunkt kann der Inhalt sogar ohne den ersten Client weiterverbreitet werden.

Das BitTorrent Protokoll war also ursprünglich für unstrukturierte zentralisierte Peer-to-Peer Netzwerke entwickelt worden (mit den Trackern als zentrale Server), ist aber durch die Einführung von von verteilten Hashtabellen strukturiert worden. Die Kommunikation fand jedoch in beiden Fällen stets punktgerichtet statt.

Inzwischen gibt es viele zusätzliche Features, die den Funktionsumfang von BitTorrent Netzwerken weit über die grundlegende Funktionalität hinausgehen lässt. So ist es z.B. möglich in den Torrent-Dateien Flags zu setzen, welche dafür sorgen, dass ein Torrent nur von bestimmten Trackern bezogen werden kann, was allerdings entsprechende kompatible Clients benötigt. Das soll dazu führen, den Traffic über bestimmte Tracker zu leiten, wovon sich die Betreiber wiederum z.B. höhere Werbeeinnahmen versprechen. Die vom BitTorrent Erfinder Bram Cohen gegründete Firma BitTorrent Inc. bietet einen Delivery Network Accelerator genannten Service an, bei dem BitTorrent Netzwerke ge-



Abbildung 2: BitTorrent DNA Logo[1]

nutzt werden, um die Server von Inhaltsanbietern zu entlasten. Das besondere hierbei ist, dass die Nutzer der Inhalte nichts davon mitbekommen und alles im Hintergrund abgewickelt wird. Der Service ist auch in einer kostenlosen Variante verfügbar[1]. Da einige Betreiber von Tracker-Seiten⁸ rechtliche Schwierigkeiten bekommen haben, da sie Torrents zu urheberrechtlich geschützten Inhalten anboten, für deren Vervielfältigung sie die nötigen Rechte nicht innehatten, wurden einige BitTorrent Clients entwickelt welche es ermöglichen innerhalb der DHT nach Torrents zu suchen. Ansätze dafür reichen vom Speichern aller genutzten Torrents bis zum Austausch von Torrent-Dateien direkt unter den Clients.

Obwohl das BitTorrent Protokoll sehr beliebt ist und großflächig zum

⁸z.B. The Pirate Bay

Einsatz kommt, hat es dennoch einige Schwächen: So liegt es in der Natur von Peer-to-Peer Netzen, dass Inhalte mehr und mehr aus ihnen verschwinden, je älter sie werden. Es finden sich also zu einem überwiegenden Teil neue und populäre Inhalte in den Netzen. Ein weiteres Problem geht mit der weitverbreiteten ADSL Technik einher: Die allermeisten Clients können einfach aus rein technischen Gründen nicht genauso viele Inhalte an andere Clients verteilen, wie sie von ihnen erhalten. Dieses Ungleichgewicht hat massiven Einfluss auf die Geschwindigkeit, mit der Clients Inhalte beziehen können. Weiter kommt erschwerend hinzu, dass im schlimmsten Fall für jeden Teil eines Torrents eine extra TCP Verbindung zum entsprechenden Client aufgebaut werden muss, was einen immensen Kommunikationsoverhead mit sich bringt. Desweiteren kann es dazu kommen, dass durch die vielen verschiedenen Adressen zu denen Verbindungen aufgebaut werden die Routingtabellen in einigen Routern überlaufen können und diese dann den weiteren Dienst verweigern. Ausserdem ist bei vielen Nutzern zu beobachten, dass sie den gewünschten Inhalt zwar über das Peer-to-Peer Netz beziehen, im Anschluss daran aber nicht bereit sind, die bezogenen Inhalte den anderen Nutzern bereitzustellen, eine der häufigen Ursachen dafür kann sein, dass Router oder Firewalls die ein Client zusätzlich nutzt nicht passend konfiguriert sind. Zu guter Letzt bleibt noch zu erwähnen, dass .torrent-Dateien insofern ein Sicherheitsrisiko darstellen, als dass sie zwangsweise eine aktuelle IP-Adresse enthalten müssen, damit andere Clients die darin beschriebenen Inhalte beziehen können. Somit werden beim Publizieren solcher Dateien auf Trackern auch indirekt Verbindungsdaten übermittelt.[6, Kap. 3]

3.2 Yacy

Yacy⁹ ist eine freie Peer-to-Peer Suchmaschine bei der jeder Client die Suche bereichern kann. Der Yacy-Client, welcher kostenlos von der Yacy Homepage heruntergeladen werden kann[5], enthält neben der Kernfunktionalität auch noch einen Webserver über den zum einen der Client überwacht und gesteuert werden kann und zum anderen werden über ihn bestimm-

⁹Yet another Cyberspace

te Funktionalitäten für alle die ihn erreichen können verfügbar gemacht. In einem DHT-basierten strukturierten Netzwerk werden die von den Clients indexierten Internetseiten gespeichert. Um dem Index neue Seiten beizusteuern kann beispielsweise nun entweder über das enthaltene Webinterface eines Clients eine beliebige URL als Startpunkt angegeben werden¹⁰, oder es kann ein Proxy eingerichtet werden, welcher alle besuchten Seiten automatisch indexiert. Das bringt den Vorteil mit sich, dass somit auch Seiten indexiert werden können die nicht verlinkt sind. Desweiteren wird die Möglichkeit gegeben die Suche auf die selbst indexierten Inhalte zu beschränken, was genutzt werden kann um eine Intranet Suche zu erstellen.



Abbildung 3: Yacy Logo[4]

Da bei jeder Suche viele TCP-Verbindungen zu anderen Clients aufgebaut werden müssen und diese nicht immer angenehme Geschwindigkeiten bieten dauert eine Suche mit Yacy in der Regel länger als mit einer klassischen Suchmaschine. Obwohl einige Universitäten¹¹ und auch Forschungseinrichtungen Yacy-Peers betreiben, gibt es dennoch insgesamt nur eine sehr kleine Anzahl von Peers die für Yacy aktiv sind.

Einige Yacy Peers wurden als mögliche Teilsuche in die Suchmaschine MetaGer integriert.[3, 5]

3.3 weitere

Einige Online-Rollenspiele nutzen Peer-to-Peer Netze um größere Updates schneller an die Clients zu verteilen und vor allem um eine Überlastung der Server durch einen zu großen Ansturm zu verhindern.

Peer-to-Peer Netzwerke sind jedoch längst nicht für alle Zwecke geeignet: Der Entwickler Infinity Ward entschloss sich für den 6. Teil seiner Call of Duty¹² Serie auf dedizierte Server zum Hosten einer Partie zu verzichten und setzte stattdessen darauf, dass die Teilnehmer einer Partie ein Peer-to-Peer

¹⁰Es können auch Dateien oder Sitemaps als Einstiegspunkt angegeben werden

¹¹z.B. die Leibniz Universität Hannover

¹²Ego-Shooter

Netz¹³ bilden. Das führte dazu, dass die Latenzen der Spieler sehr unterschiedlich ausfielen. Genau genommen hatte der “Host” keine Latenz, da das Spiel bei ihm lokal lief und die anderen Spieler je nach Leistung des “Hosts” und Verbindung zu ihm eine entsprechend höhere Latenz hatten. Was weiterhin für Frust sorgte, war die sogenannte “Host migration”. Hierbei trat der Fall ein, dass der “Host” das Spiel und damit auch das Peer-to-Peer Netz verließ, was dazu führte, dass ein anderer Spieler zum “Host” wurde. In diesem Moment wurden alle Clients eingefroren und darauf gewartet, dass alle ihre Verbindungen zum alten “Host” beendet und die zum neuen aufgebaut wurden. Offenbar ist die genutzte Peer-to-Peer Lösung zu allem Überfluss auch noch ineffizient, was sich dadurch erkennen lässt, dass einige Spieler von ihrem Provider verwarnt oder gar direkt gerügt wurden, dass sie widerrechtlich Peer-to-Peer Filesharing betreiben würden.

Es existieren Forschungsprojekte in denen DHT-basierte strukturierte Peer-to-Peer Netzwerke für Routing Zwecke erforscht werden sollen. Nennenswerte Projekte in ähnlichem Zusammenhang sind Chord, Pastry, Tapestry und CAN.

4 Zusammenfassung

Es ist unschwer zu erkennen, dass Peer-to-Peer Netzwerke inzwischen so gut wie überall im Internet zu finden sind. In den meisten Fällen operieren sie im Hintergrund, ohne das man etwas davon mitbekommt. Ihr Einsatzgebiet ist ebenso vielfältig wie großflächig. Es ist zu erwarten das in Zukunft noch mehr Peer-to-Peer Netzwerke auftauchen und das weitere Zwecke für sie erschlossen werden. Es ist auffällig das viele Peer-to-Peer Netzwerke strukturiert sind und auf einer verteilten Hashtabelle basieren, es scheint so als ob dies nicht nur die flexibelste, sonder auch effizienteste Art von Netz ist.

¹³Der Entwickler will keine Details dazu veröffentlichen, die Tatsache das einer der Teilnehmer als “Host” markiert wird schränkt die Möglichkeiten jedoch ein

Literatur

- [1] *BitTorrent DNA*. <http://www.webcitation.org/5qYz5rh36>
- [2] *BitTorrent Logo*. <http://www.webcitation.org/5qYizoSSI>
- [3] *Yacy Applications*. <http://www.webcitation.org/5qa2wV1A3>
- [4] *Yacy Logo*. <http://www.webcitation.org/5qa2gm18Z>
- [5] *Yacy Main Page*. <http://www.webcitation.org/5qa2q4MdS>
- [6] CIKRYT, Christian: *Beyond Music File Sharing: A Technical Introduction to P2P Networks*. 2010
- [7] STEINMETZ, Ralf. ; WEHRLE, K.: *Peer-to-peer systems and applications*. Springer, 2005