

## Ein kurzer Überblick

*Peer, du lyver!*  
Henrik Ibsen (Peer Gynt)

### 1.1 Peer-to-Peer-Netzwerke im Jahr 2006

Es gibt sie noch, die Leute, die noch nie von Peer-to-Peer-Netzwerken gehört haben. Andere kennen Peer-to-Peer-Netzwerke nur aus der Zeitung als eine Schlangengrube von Raubkopierern, die illegal Musikstücke über das Internet vertreiben: Bisweilen wird dieses oder jenes Peer-to-Peer-Netzwerk stillgelegt, und so genannte Raubkopierer erhalten Besuch von der Polizei oder Post von der Staatsanwaltschaft. Und dann ist da noch die Gruppe der Peer-to-Peer-Netzwerk-Benutzer, die meist verschämt die Augen niederschlagen, wenn sie darauf angesprochen werden. Sie sind ausgestattet mit einem gehörigen Maß an Paranoia, da sie fürchten (oder wissen) irgendetwas Unrechtes getan zu haben und möglicherweise dafür belangt zu werden. Andererseits haben sie immer das neueste Video und das neueste Musikstück. Typischerweise legen sie größten Wert auf einen schnellen Netzwerkzugang und besitzen (für andere Zwecke) unangemessen große Festplattenkapazitäten.

Tatsächlich verwenden immer mehr Personen Peer-to-Peer-Netzwerke, die oft auch als „P2P Networks“ bezeichnet werden. Im Juni 2005 waren nach Angaben der Firma *Bigchampagne*, die Hitparaden aufgrund der Downloads in Peer-to-Peer-Netzwerken erstellt, rund neun Millionen Menschen gleichzeitig Teilnehmer an Peer-to-Peer-Netzwerken. Insgesamt sollen bereits 35 Millionen Europäer schon einmal ein Peer-to-Peer-Netzwerk verwendet haben. Nach Angaben der Firma *CacheLogic* wird mehr als 50% der durch das Internet beförderten Datenmenge durch Peer-to-Peer-Netzwerke verursacht, siehe Abbildung 1.1 und 1.2. Während früher der Großteil dieser Daten Musikdateien waren, die komprimiert im *MP3*-Format von Teilnehmern getauscht wurden, sind es in letzter Zeit gleich ganze Kinofilme, die übertragen werden. Während *MP3*-Dateien von Musikstücken in der Regel die Größe von einigen Megabytes besitzen, schlagen Kinofilme, die zumeist von DVDs kopiert werden, mit einigen Gigabytes zu Buche. Dadurch lässt sich die Datenmenge leicht er-

klären. Insbesondere lassen sich bestimmte Ereignisse in Peer-to-Peer-Netzwerken im Gesamtdatenvolumen des Internets ablesen, wie zum Beispiel die ungenehmigte Veröffentlichung einer Arbeitskopie des Films „Star Wars III“ in verschiedenen Peer-to-Peer-Netzwerken.

In der Öffentlichkeit hat sich der Begriff *Tauschbörse* für Peer-to-Peer-Netzwerke eingebürgert. Dieser Begriff ist jedoch in zweierlei Hinsicht irreführend. Mit Tausch oder Börse haben diese Übertragungen wenig gemein. Die meisten in solchen Netzwerken angebotenen Daten sind Verstöße gegen international geltende Urheberrechte, die mittlerweile auch systematisch geahndet werden. Fast alle Netzwerke beruhen auf der kostenfreien Bereitstellung von Diensten aller Teilnehmer. Für das Herunterladen einer Datei entstehen somit nur die Verbindungskosten jedes Teilnehmers zum Internet.

Die Motive der Nutzer, die die Kosten für den Kauf oder das Leihen aktueller Musikstücke, Filme oder Software scheuen, kann man nachvollziehen. Jedoch erscheinen die Motive der Teilnehmer, die diese Formate zumeist unentgeltlich zur Verfügung stellen, rätselhaft. Vielleicht sind es Neugier und Geltungssucht. Vielfach aber auch sind es verabredete Übertragungen unter Freunden oder Internet-Bekanntschäften.

Man darf hierbei nicht übersehen, dass es auch legale Anwendungen gibt. Hierunter fällt zum Beispiel Software, die unter der *GNU General Public Licence (GPL)* [1] veröffentlicht worden ist. Daneben werden auch Filme, Musikstücke und Bücher zu Werbe- oder Informationszwecken kostenfrei zur Verfügung gestellt. Kleine unabhängige Musikgruppen nutzen dies zum Beispiel, um ihren Bekanntheitsgrad zu steigern. Manche Software-Unternehmen verteilen durch Peer-to-Peer-Netzwerke ihre Software-Aktualisierungen. Die Firma SUN-Microsystems hat für solche legalen Anwendungen die Open Source-Plattform *JXTA* zur Verfügung gestellt. Mittlerweile gibt es eine Vielzahl von Unternehmen [2], die auf dieser Plattform legale Anwendungen von Peer-to-Peer-Netzwerken benutzen. Eine weitverbreitete, ebenfalls legale Anwendung von Peer-to-Peer-Netzwerken ist das Internet-Telefon. So verwendet *Skype* [3] ein Peer-to-Peer-Netzwerk (siehe auch Seite 248). Mit dieser VoIP-Software (*Voice over Internet Protocol*) sind Ende 2006 durchgehend mehr als fünf Millionen Benutzer gleichzeitig erreichbar. Besonders wichtig ist aber auch die Verwendung von Peer-to-Peer-Netzwerken zur unzensierten und anonymen Verbreitung von Nachrichten und Informationen. Gerade Benutzer in Diktaturen können dadurch ihr Grundrecht auf freie Meinungsäußerung ungestraft wahrnehmen. Hierfür wurde unter anderen *Freenet* [4] entwickelt. Dieses Peer-to-Peer-Netzwerk ermöglicht es den Teilnehmern Dateien zu veröffentlichen, ohne dabei die Identität und den Ort des Autors preiszugeben. Die Autoren von Freenet wollten damit den Bürgern in Diktaturen ein sicheres und freies Podium zur Verfügung stellen. In der Praxis zeigt sich aber, dass die meisten Benutzer von Freenet ganz andere Ziele verfolgen als die Durchsetzung von Menschenrechten. Aus einer Untersuchung aus dem Jahr 2000 [5] geht hervor, dass von den Textdateien fast 60% das Thema Drogen behandeln; von den Grafikdateien und Videodateien waren über 75% pornografischen Inhalts und der Großteil der Audiodateien war überwiegend von Rockbands, die wohl kaum mit der kostenfreien Publikation in Freenet einverstanden waren.

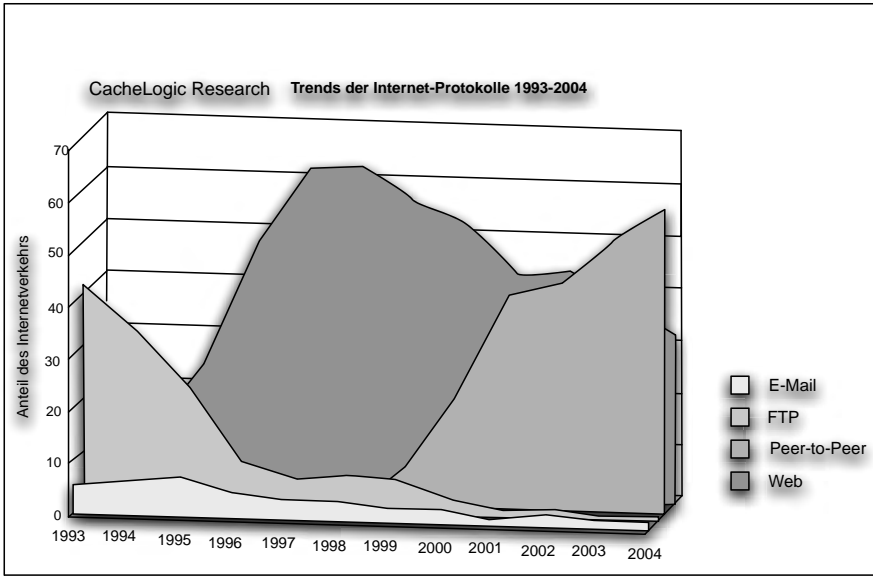


Abb. 1.1. Entwicklung des Datenverkehrs im Internet von 1993 bis 2004 nach der Darstellung der Firma CacheLogic [6].

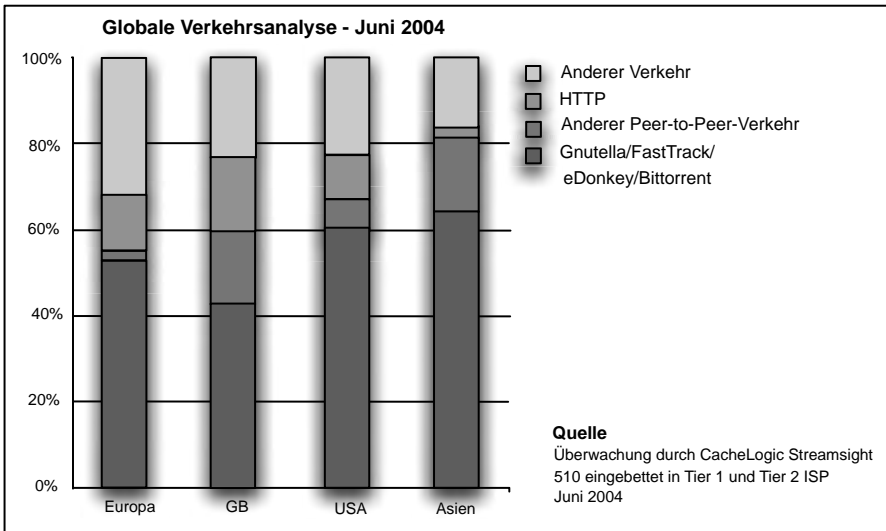


Abb. 1.2. Verteilung des Datenverkehrs im Internet Ende 2004 nach der Darstellung der Firma CacheLogic [6].

Vielen Autoren, Künstlern, Programmierern und Filmschaffenden sowie ihren Verlegern ist dieses illegale Kopieren naturgemäß ein Dorn im Auge. Mit verschiedenen Methoden bekämpfen sie dieses Phänomen. Am sichtbarsten sind Imagekampagnen, in denen ein illegaler *Download* in die Nähe von Schwerverbrechen gerückt wird, was man schon an der irreführenden Bezeichnung *Raubkopierer* sieht: Raub bezeichnet (sonst) einen gewaltsamen Diebstahl. Propagandafilme zeigen Raubkopierer, die mehrjährige Haftstrafen abbüßen. Darüber hinaus bemühen diese die Gerichte, die mittlerweile unter der Last der Klagen zu leiden haben, um ihre Rechte durchzusetzen. So gab es im Jahr 2005 Tausende von Klagen gegen Einzelnutzer. Hierbei hat sich auch ein lukratives Geschäftsfeld zur Verfolgung von Urheberrechtsverletzungen entwickelt. So gibt es Unternehmen, wie beispielsweise die Logistep AG, die an Peer-to-Peer-Netzwerken teilnehmen, um dann zum Beispiel über die Internet-Adressen (IP-Adresse, siehe Seite 17) der Nutzer Klagen gegen diese anzustrengen.

In der Tat ist die *rechtliche Situation* für den Laien ziemlich unübersichtlich. Ein Grund ist, dass es das Internet möglich macht, global Daten zu übertragen, aber die Gesetzgebung einzelner Länder äußerst unterschiedlich ist. So kann zum Beispiel schon der Verkauf einer CD über eBay in der Originalverpackung in Deutschland eine Urheberrechtsverletzung darstellen. Dagegen wird seit Jahr und Tag in Schweden ohne jegliche juristische Konsequenzen eine zentrale Anlaufstelle für die Vermittlung von illegalen Dateiübertragungen im *Bittorrent*-Protokoll unterhalten ([thepiratebay.org](http://thepiratebay.org)). Des Weiteren ist in einigen Ländern die Verwendung bestimmter kryptographischer Protokolle strafbar. Hierunter fallen auch Programme, die untrennbarer Bestandteil heutiger Rechner sind. Das betrifft nicht nur Länder wie China und Iran, sondern auch demokratische Staaten, wie z.B. Frankreich.

Ein weiterer Grund ist die Skrupellosigkeit der Vertreter von Peer-to-Peer-Netzwerk-Software und Suchmaschinen für in Peer-to-Peer-Netzwerken indizierte Dateien. Diese klären die Benutzer über die juristischen Konsequenzen ihres Handelns nicht auf. Vielmehr versuchen sie, aus der massenhaften Nachfrage nach solcher Software eigene kostenpflichtige Plattformen zu bewerben.

Trotz dieser Gründe hat es sich sicher bei den meisten Benutzern von Peer-to-Peer-Netzwerken herumgesprochen, dass nicht alles, was technisch möglich ist, auch legal ist.

## 1.2 Peer-to-Peer-Netzwerke seit 1999

Schon das erste so genannte Peer-to-Peer-Netzwerk verdankte seinen Aufstieg und Fall diesem Spannungsfeld. Shawn „Napster“ Fanning (Jahrgang 1980) brachte im Juni 1999 eine Beta-Version seines mittlerweile legendären Peer-to-Peer-Netzwerks *Napster* heraus. Die ursprüngliche Aufgabe dieser Software war die Bereitstellung eines File-Sharing-Systems, mit dem man Dateien auf Rechnern, die sich an diesem System anmelden, lokalisieren und dann direkt von diesen Rechnern herunterladen kann. Erst durch das Engagement eines Freundes von Shawn Fanning wurde aus dem File-Sharing-System ein Musik-Portal, das hauptsächlich zur Verbreitung von

Musikdateien diente. Dadurch erhielt Napster schon im Herbst 1999 den Titel des Download des Jahres.

Wegen der Missachtung von Urheberrechten der Musikautoren klagten einige Musikverlage gegen Fanning und drohten mit der Stilllegung des Systems. Tatsächlich geschah einige Zeit nichts, und durch die durch den Rechtsfall gesteigerte Publizität nahm die Anzahl der Teilnehmer sogar zu. In einer überraschenden Wendung ging Fanning Ende 2000 einen Kooperationsvertrag mit Bertelsmann eCommerce ein. Nach einigen weiteren juristischen Wirren wandelte er sein bislang kostenloses System schließlich in eine kommerzielle File-Sharing-Plattform um.

Bevor *Napster* vom Netz ging, zeigte sich schon, dass die zentrale Struktur von Napster nicht geeignet ist die eingehenden Anfragen zu bearbeiten. Aber die Tatsache, dass Millionen von Benutzern von einem Rechner abhängig waren, der dann (aus juristischen Gründen) tatsächlich ausfiel, motivierte den Gegenentwurf eines völlig dezentralen Netzwerks.

*Gnutella* [7] ist das erste Peer-to-Peer-Netzwerk, das diesen Namen auch verdient. Während in Napster ein zentraler Server die Indexdateien der Daten verwaltet hat, haben die Entwickler von Gnutella diese Aufgabe auf alle teilnehmenden Rechner verteilt. Jeder Rechner hat sowohl Daten als auch die Indexinformationen. Die Verbindungsstruktur, aber auch die Verteilung der Daten oder Indexinformationen sind vollkommen unorganisiert. Gnutella war seit seinem Start im Jahr 2000 praktisch unangreifbar. Denn solange nur ein Rechner aktiv teilnimmt, existiert das Netzwerk. Wird ein Rechner herausgenommen, so betrifft dies nur die Daten und Informationen, die dieser Rechner zur Verfügung stellte. Alle Operationen wie Anmelden, Suche und Bereitstellung geschehen nämlich ohne zentrale Koordination. Jeder Teilnehmer ist ersetzbar. Die Schattenseite ist das völlige Chaos in der Netzwerk- und Datenstruktur. Die Suche nach einem bestimmten Datum ist langwierig, ressourcenaufwändig und unzuverlässig. Nur Daten, die häufig vorkommen, werden schnell gefunden. Viele Nutzer stört das wenig, da zumeist die Musikhits sehr gut und schnell verfügbar sind. So wuchs die Gnutella-Gemeinde ebenso schnell wie zuvor diejenige von Napster. Dieses Massenphänomen, das zudem auch noch während des Internet-Booms stattfand, faszinierte viele Informatiker. Das hängt auch damit zusammen, dass ein so einfaches Protokoll (siehe Seite 57) eine so komplexe Netzwerkstruktur aufbaut (siehe Seite 174).

So starteten viele ihr eigenes verbessertes Peer-to-Peer-Netzwerk und im Jahr 2000 kam das ebenfalls populäre Netzwerk *eDonkey* heraus. Im Jahr 2001 folgte *FastTrack*, das vor allem durch die Client-Software *Morpheus*, *Kazaa* und *Grokster* bekannt wurde. Ebenfalls 2001 wurde eine veränderte Version von Gnutella (hier Gnutella-2 genannt) veröffentlicht, sowie die Open Source Peer-to-Peer-Netzwerk-Plattform *JXTA* von SUN Microsystems, mit der man sehr einfach funktionstüchtige, praxistaugliche Peer-to-Peer-Netzwerke entwickeln kann. All diese Netzwerke verbesserten die ursprünglichen Probleme von Gnutella und spielen heute noch eine große Rolle. Oftmals verzichten sie aber auf den Einsatz elementarer algorithmischer Techniken, die Informatiker schon zu Beginn ihres Studiums kennenlernen.

Effiziente Datenstrukturen werden, seitdem es Computer gibt, zur Beschleunigung der Suche nach Daten verwendet. Diese Datenstrukturen können aber nicht ein-

fach auf diese neuartigen Netzwerke angewendet werden. Zwar gab es schon länger parallele Rechnernetzwerke und effiziente Algorithmen für Parallelrechner. Peer-to-Peer-Netzwerke stellten aber eine gewisse Herausforderung dar, weil kein Rechner eine hervorgehobene Rolle spielen darf. Außerdem erscheinen und verschwinden die Netzwerkteilnehmer ständig, so dass sich ein Peer-to-Peer-Netzwerk in ständiger Unruhe befindet.

Die erste effiziente Datenstruktur für ein Peer-to-Peer-Netzwerk wurde 2001 mit *CAN (Content Addressable Network Storage)* [8] vorgestellt. CAN verwendet eine Technik namens *Distributed Hash-Tables (DHT)*, 1997 für die Verteilung von Daten und Verkehr für Web-Surfer entwickelt [9]. CAN beschrieb damals schon sehr weitgehende Konzepte zur Verbesserung der Suche in Peer-to-Peer-Netzwerken. Im selbem Jahr wurde mit *Chord* [10] eine effizientere Lösung vorgestellt. Chord realisiert die Suche effizienter als CAN und besitzt eine vergleichbar einfache Struktur. Noch heute ist Chord eine brauchbare Methode zur verteilten Indizierung. An CAN und Chord waren namhafte Algorithmiker beteiligt, und es entwickelte sich in dieser Gemeinde eine wahre Jagd nach der besseren verteilten Datenstruktur (Wie auch zeitgleich in der Gemeinde der Netzwerkpraktiker immer neue Peer-to-Peer-Netzwerke entwickelt wurden, wenn auch mit völlig anderer Zielrichtung). So kamen 2001 mit *Pastry* [11] und *Tapestry* [12] zwei eng verwandte, ebenfalls effiziente Netzwerke hinzu, die eine Routing-Methode von Plaxton, Rajamaran und Richa [13] auf Peer-to-Peer-Netzwerke übertrugen. Erwähnenswert ist auch das *Kademlia*-Netzwerk [14], das 2002 veröffentlicht wurde und ebenfalls eine einfache und effiziente Methode zur Suche nach Indexdaten zur Verfügung stellt.

In diesen Anfangsjahren der Peer-to-Peer-Netzwerke überschlugen sich die Ereignisse, und zahlreiche theoretische und praktische Konzepte wuchsen nebeneinander her. Diese Situation scheint sich nun zu ändern. So verwendet *Overnet*, eine Erweiterung von eDonkey, zum effizienten Routing von Suchanfragen die Methode von Kademlia. *Bittorrent*, eines der erfolgreichsten Peer-to-Peer-Netzwerke, wurde 2005 um eine DHT-Datenstruktur erweitert. Bis dahin hatte es sich seit seinem Entstehen 2001 dadurch ausgezeichnet, dass es zwar große Dateien unerreicht schnell übertragen kann, aber überhaupt keine Möglichkeit zum Finden von solchen Daten bereitgestellt hat. Diese Information musste zuvor anderweitig beschafft werden. Die theoretischen und praktischen Ansätze wachsen also nun zusammen und man kann gespannt sein, wie weit sich dieses Konzept noch weiterentwickeln wird.

### 1.3 Was ist ein Peer-to-Peer-Netzwerk?

Die häufigste Anwendung von Peer-to-Peer-Netzwerken war und ist momentan die Weitergabe von Musik- und Film-Dateien, und das zumeist noch im Zusammenhang mit der Verletzung von Urheberrechten. Dabei war jedoch von Anfang an klar, dass Peer-to-Peer-Netzwerke mehr als das können.

Das englische Wort *Peer* [ˈpiːr] bezeichnet einen Ebenbürtigen, Gleichrangigen (aber auch ein Mitglied des Hochadels). Dem Wörterbuch von Merriam-Webster zufolge geht dieses Wort über das Mittelenglisch zurück auf das lateinische Wort *par*,

das auch im Deutschen mit der Bedeutung „gleich“ verwendet wird. Eine *Peer-to-Peer*-Beziehung ist demnach ein Treffen unter Gleichen. Keiner steht über dem anderen. Niemand kontrolliert die Kommunikation oder gibt Anweisungen. Ein Peer-to-Peer-Netzwerk ist wortwörtlich ein Netzwerk, das Gleichrangige mit anderen Gleichrangigen direkt verbindet ohne zentrale Instanzen oder Kontrollen. Es gibt keine Teilnehmer, die die Rolle einer tonangebenden Ordnungsbehörde spielen.

Das zugehörige politische Äquivalent des Peer-to-Peer-Netzwerks ist vielleicht die Demokratie (oder Anarchie?), wo jeder Beteiligte gleiche Rechte und Pflichten hat. Nur gibt es in Peer-to-Peer-Netzwerken keinen gewählten Präsidenten, keine Richter und keine Polizei.

Tatsächlich behandelt auch das *Internet* (siehe Seite 11) Rechner gleich. In den verwendeten Protokollen *TCP*, *UDP* und *IP* gilt immer das Prinzip der Gleichheit. Es gibt auch keine privilegierten IP-Adressen. So gesehen setzte das Internet schon das Peer-to-Peer-Prinzip ein, lange bevor Peer-to-Peer-Netzwerke als solche bezeichnet wurden. Diese Gleichbehandlung geschah aber in den unteren, für die Benutzer nicht sichtbaren Schichten des Internet-Protokolls: der *Transportschicht* (Transport Layer), d.h. *TCP* (*Transmission Control Protocol*) und *UDP* (*User Datagram Protocol*), und der *Vermittlungsschicht* (Network Layer) mit *IP* (*Internet Protocol*). In der *Anwendungsschicht* (*Application Layer*) werden zumeist *Client-Server-Protokolle* verwendet. Die Software, die der Otto Normalverbraucher erhält, ist der sogenannte *Client*, beispielsweise ein *Web-Browser*, mit dem man HTML-Seiten abrufen kann. Auf der anderen Seite stehen die Web-Inhalte, die auf einem *Server* gespeichert werden. Der Client kontaktiert den Server, um die Web-Seite abzurufen und der Server schickt sie dem Client zu. Diese Beziehung ist völlig asymmetrisch. In der Praxis wird Server-Software zumeist auf besonders zuverlässigen und leistungsfähigen Rechnern betrieben, während Client-Software massenhaft auf Standardrechnern läuft. Solche Client-Server-Architekturen kennt man von *HTML* (*Hypertext Markup Language*), *E-Mail* (*SMTP - Simple Mail Transmission Protocol*), Internet-Suchmaschinen, Verzeichnisdiensten, Online-Radio, Internet-Diensteanbietern und vielen anderen. Die Client-Server-Architektur ist die vorherrschende Konstruktionsmethode für Anwendungen im Internet.

Bei einer Client-Server-Netzwerk-Struktur kontrolliert ein privilegierter Knoten, der Server, die anderen Teilnehmer, die Clients. Verweigert der Server einem Client den Dienst, so ist der Client machtlos. Fällt der Server aus, so kann kein Client mehr arbeiten. Hierzu reicht es schon, dass der Server kurzzeitig mit zu vielen Client-Anfragen überlastet wird.

In Peer-to-Peer-Netzwerken gibt es diese klare Aufteilung in Server und Client nicht mehr. Wenn man es in der Denkweise der Client-Server-Architektur ausdrücken will, so kann man sagen: In einem Peer-to-Peer-Netzwerk nimmt jeder Teilnehmer sowohl Client- als auch Server-Aufgaben wahr. Ein Definitionsversuch von Peer-to-Peer-Netzwerken der *Peer-to-Peer-Working-Group* [15] war: „In einem Peer-to-Peer-Netzwerk werden verteilte Rechenressourcen durch direkte Kommunikation gemeinsam genutzt.“ Diese Definition ist sicherlich zu allgemein. Letztlich haben sich Wissenschaftler nur darauf geeinigt, dass Peer-to-Peer-Netzwerke nicht Client-Server-Netzwerke darstellen.

Ironischerweise war ausgerechnet das erste Peer-to-Peer-Netzwerk, nämlich *Napster*, bis auf den Download ein klassisches Client-Server-Modell. Erst die darauf folgenden Netzwerke verfolgten den Peer-to-Peer-Gedanken vollständig. Bis jetzt hat sich die Fachwelt im Groben darauf geeinigt, dass ein Peer-to-Peer-Netzwerk ein *Overlay-Netzwerk* des Internets ist, in dem Rechner ebenbürtig ohne zentrale Koordination kommunizieren und gemeinsam eine Anwendung zur Verfügung stellen. *Overlay* bezeichnet die Tatsache, dass über dem bestehenden Netzwerk, dem Internet, ein weiteres Netz gesponnen wird, in dem ausschließlich die Peer-to-Peer-Teilnehmer vorhanden sind.

## 1.4 Ein Überblick über dieses Buch

Bevor wir wieder auf Peer-to-Peer-Netzwerke zu sprechen kommen, ist es ganz hilfreich das Netzwerk unter dem Overlay-Netzwerken kennenzulernen: Das Internet. In Kapitel 2 stellen wir dieses Netzwerk mit seinen Besonderheiten vor. Im Wesentlichen besteht das Internet aus dem Internet-Protokoll (IP) und den Transport-Protokollen TCP und UDP. Viele Design-Entscheidungen in Peer-to-Peer-Netzwerken werden erst klar, wenn man das Internet als Kommunikationsnetzwerk kennt.

Dann wenden wir uns in Kapitel 3 den ersten Peer-to-Peer-Netzwerken zu: Napster und Gnutella. Diese Netzwerke haben die weitere Entwicklung entscheidend geprägt. Insbesondere ihre Unzulänglichkeiten waren ein Ansporn für die Entwicklung der nachfolgenden Netzwerke.

Den Schwerpunkt dieses Buchs stellen die Kapitel 4 bis 8 dar. Hier werden Peer-to-Peer-Netzwerke besprochen, die die effiziente Suche nach Daten und die Netzwerkstruktur perfektioniert haben. Diese sind CAN in Kapitel 4, Chord in Kapitel 5, Pastry und Tapestry in Kapitel 6. Viceroy, Distance-Halving und Koorde optimieren neben der Suche auch die Anzahl der Nachbarn. Diese drei werden in Kapitel 7 vorgestellt. In Kapitel 8 werden effiziente Netzwerkstrukturen besprochen, die die Indexdaten sortiert abspeichern. Dies sind P-Grid und Skipnet.

In Kapitel 9 wenden wir uns dem Phänomen der Selbstorganisation in Peer-to-Peer-Netzwerken zu. So kann man in dem unorganisierten Verbindungsaufbau von Gnutella eine Struktur beobachten, die man mit den Begriffen Pareto-Verteilung und Small-World-Phänomen beschreiben kann. Im gleichen Kapitel wird beschrieben, wie einfache lokale Operationen bestimmte Grapheigenschaften (kleiner Durchmesser und Expander-Eigenschaft) herstellen können. Diese Mechanismen kann man zur Reparatur von Peer-to-Peer-Netzwerken wie Chord verwenden.

Peer-to-Peer-Netzwerke sind häufig das Ziel von Angriffen. In diesen Netzwerken ist das Problem der Abwehr solcher Angriffe besonders schwierig, da keine zentralen Strukturen vorhanden sind, die autoritär eingreifen können. Außerdem kennen und vertrauen sich die Teilnehmer nicht. Diese Sicherheitsprobleme werden in Kapitel 10 beschrieben.

Das Internet bietet a priori keine Anonymität, denn es arbeitet mit eindeutigen Adressen. Teilnehmer in Peer-to-Peer-Netzwerken möchten aber aus verschiedenen



Gründen nicht öffentlich auftreten. In Kapitel 11 werden wir zeigen, wie Peer-to-Peer-Netzwerke Anonymität zusichern können.

Peer-to-Peer-Netzwerke werden in der Praxis hauptsächlich zum Dateitransfer eingesetzt. In Kapitel 12 werden wir beschreiben, wie man diesen Prozess beschleunigen kann. Insbesondere beschreiben wir hier IP-Multicast, das Peer-to-Peer-Netzwerk Bittorrent und die Methode der Netzkodierung.

In Kapitel 13 werden die am meisten verbreitetsten Peer-to-Peer-Systeme vorgestellt. Dies sind Fasttrack, eDonkey, Overnet und Bittorrent.

Wer ein zeitgemäßes Buch über Peer-to-Peer-Netzwerke schreibt, darf die juristische Situation nicht verschweigen. Diese ist äußerst unübersichtlich und im fortwährenden Wandel. Unter anderem wird in Kapitel 14 eine Hilfestellung für Netzwerk-Designer gegeben. (Alle juristischen Auskünfte in diesem Buch sind ohne Gewähr.) Außerdem werden in diesem abschließenden Kapitel bestehende und zukünftige Anwendungen für Peer-to-Peer-Netzwerke sowie offene Fragen diskutiert.

Eine Zusammenfassung der verwendeten mathematischen Notationen und Sätze findet sich im Anhang ab Seite 261.