

Peer-to-Peer

Anwendungsbereiche und Herausforderungen

Detlef Schoder und Kai Fischbach

Wissenschaftliche Hochschule für Unternehmensführung (WHU)
Otto Beisheim Hochschule

Peer-to-Peer (P2P) hat sich binnen kurzer Zeit zu einem der meistdiskutierten Begriffe in der jüngeren Geschichte der Informationstechnologie herausgebildet. Insbesondere die millionenfach frequentierten Musikaustauschbörsen wie etwa Napster haben P2P zu einem aus ökonomischer, technologischer und juristischer Perspektive kontrovers diskutierten Phänomen gemacht.

File-Sharing à la Napster ist dabei nur eine Facette des P2P-Phänomens: Während in der öffentlichen Wahrnehmung beide Begriffe häufig synonym verwendet werden, zeichnet erst die Einbeziehung von Instant Messaging, Collaboration/ P2P Groupware sowie Grid bzw. Distributed Computing¹ ein umfassenderes Bild. P2P-Netzwerke bilden die Infrastruktur für virtuelle Gemeinschaften, die Ressourcen teilen, Informationsaustauschprozesse beschleunigen und neuartige kollaborative Arbeitsumgebungen ermöglichen.

Dieser Beitrag liefert einen Überblick über das Spektrum von P2P. Anwendungsbereiche von P2P werden skizziert und Herausforderungen im Zusammenhang mit der kommerziellen Nutzung benannt, die einer Erschließung der Potentiale der P2P-Technologien bislang entgegenstehen.

Einleitung

Mit dem Begriff Peer-to-Peer ist die Vorstellung verbunden, dass in einem Verbund Gleichberechtigter („Peers“), die sich wechselseitig Ressourcen wie Informationen, CPU-Laufzeiten, Speicher und Bandbreite zugänglich machen, kollaborative Prozesse unter Verzicht auf zentrale Koordinationsinstanzen durchgeführt werden.²

¹ Die Begriffe Grid, Distributed und Internet Computing werden im Kontext von P2P häufig synonym gebraucht. Im Folgenden wird der Begriff Grid Computing verwendet. Eine differenzierte Erörterung der Unterschiede und Gemeinsamkeiten findet sich in den Beiträgen von Foster/Kesselman/Tuecke und Barth/Grauer in diesem Band.

² Ähnlich definiert auch die *Peer-to-Peer Working Group* P2P Computing als „...sharing of computer resources and services by direct exchange between systems. These resources

Drei Eigenschaften lassen sich anführen, die das Wesen heutiger P2P-Anwendungen ausmachen:³

1. *Client- und Serverfunktionalität*: In einem P2P-Netzwerk kann jeder Knoten im Kontext einer Anwendung Daten speichern, senden und empfangen. Er ist damit in der Lage, sowohl Client- als auch Serverfunktionalität⁴ zu leisten. Im idealtypischen Fall sind alle Knoten gleichberechtigt und gleichwertig.
2. *Direkter Austausch zwischen Peers*: Wenn zwei Knoten eines Netzwerkes direkt vernetzt sind, können sie in Echtzeit miteinander interagieren. Es gibt keine zentrale Instanz, die die Kommunikation verzögert oder filtert. Dabei ist es unerheblich, welche Daten zu welchem Zweck ausgetauscht werden. Beispiele sind einfache Textnachrichten, Multimediadateien oder der Aufruf von Prozeduren.
3. *Autonomie*: Den Knoten eines P2P-Netzwerks kommt dabei vollkommene Autonomie im Sinne der (Selbst-)Kontrolle ihrer eigenen Aktivitäten zu, d.h. sie allein legen fest, wann und in welchem Umfang sie ihre Ressourcen anderen zur Verfügung stellen. Als Folge dieser Autonomie ist nicht sichergestellt, dass ein Knoten dem Netz ständig zur Verfügung steht. Das Netzwerk muss also tolerieren, dass die Knoten nicht permanent online sind.⁵

Die den P2P-Anwendungsbereichen zugrunde liegenden Technologien und die damit verknüpften Herausforderungen sind allesamt nicht neu.⁶ Je nach definitiver Fassung des Begriffs ist P2P sogar als eine der ältesten Architekturen in der Welt der Telekommunikation zu begreifen: So lassen sich u.a. das Telefonsystem, die Diskussionsforen des Usenet oder das frühe Internet als P2P-Systeme klassifizieren.⁷ Einige Stimmen sprechen demzufolge davon, dass „peer-to-peer technologies return the Internet to its original version, in which everyone creates as well as consumes.“⁸

and services include the exchange of information, processing cycles, cache storage, and disk storage for files.“ <http://www.p2pwg.org/whatis>. Vgl. auch David Barkai [Bar01, S. 13]: „Peer-to-peer computing is a network based computing model for applications where computers share resources via direct exchanges between the participating computers.“

³ Vgl. [Mil01, S. 17 ff.] und [Bar01, Kap. 1].

⁴ Ein Peer kann natürlich nur im Rahmen seiner Leistungsfähigkeit als Server fungieren.

⁵ Ein treffendes Beispiel sind Online-Musiktauschbörsen. Anwender sind häufig nur für einen geringen Zeitraum eines Tages online. Trennen sie ihre Internet-Verbindung, steht ihr Knoten dem Netz nicht mehr zur Verfügung.

⁶ Vgl. [Sch01], [FKT01] und [Ora01a].

⁷ Im Rahmen des ARPANET wurden die ersten (vier) Hosts des Internet als gleichberechtigte computer sites zusammengeschaltet, also gerade nicht in einer Master/Slave oder Client/Server-Beziehung. Das frühe Internet war vom Charakter und der Nutzung ein vergleichsweise zu heute weitaus offeneres und durchlässigeres Netzwerk. Vgl. Minar, N.; Hedlund, M. (2001): A Network of Peers, Peer-to-Peer Models Through the History of the Internet, in: [Ora01], S. 3-37.

⁸ Vgl. [Ora01c, S. ix.].

Der mittlerweile hohe Penetrationsgrad leistungsfähiger Kommunikationsnetzwerke, Standardisierungsfortschritte, neue Anwendungsbereiche sowie benutzerfreundliche Applikationen und Clients eröffnen der P2P-Technologie große Potentiale. Begünstigt wird diese Entwicklung durch die auch weiterhin zu erwartenden fallenden Kosten für Speicherung und Transport von digitalen Informationen.

P2P-Technologien versprechen durch die weitgehende Loslösung von zentralen Institutionen neue Dimensionen des Informationsmanagement, z.B. Beschleunigung von (Kommunikations-)Prozessen, hohe Austauschfähigkeit auch aktueller, dezentral generierter Informationen – und damit die Unterstützung von ad hoc-Arbeitsgruppen – sowie Kostensenkung, etwa durch bessere Auslastung „brachliegender“ Ressourcen. Dezentrale und (teil-)autonome Strukturen sowohl geschäfts- als auch technologiegetriebener Anwendungen mit P2P-Technologie zu realisieren, scheint daher ein vorteilhafter Ansatz zu sein.

Der folgende Abschnitt gibt einen Überblick über die Anwendungsbereiche von P2P.

Anwendungsbereiche

In Anlehnung an jüngere Veröffentlichungen⁹ und Konferenzen¹⁰ lassen sich unter dem Begriff P2P folgende Anwendungsbereiche subsumieren: Instant Messaging, File-Sharing, Collaboration/P2P Groupware und Grid Computing. Häufig werden Web Services als weiteres Anwendungsgebiet benannt (und in diesem Beitrag auch vorgestellt).

Instant Messaging

Der Begriff Instant Messaging (IM) steht stellvertretend für Applikationen, die auf den direkten Austausch von Nachrichten zwischen Usern ausgerichtet sind. Ein wesentlicher Vorteil von IM-Anwendungen besteht darin, dass den Mitgliedern eines Netzwerkes bekannt gemacht wird, welche anderen Mitglieder des selben Netzes online sind. So lässt sich feststellen, welcher Peer Ressourcen bereitstellen bzw. kontaktiert werden kann. IM-Funktionalitäten sind aus diesem Grund mittlerweile in viele File-Sharing- und Collaboration-Anwendungen integriert.¹¹

⁹ Vgl. exemplarisch [Ora01a], [Mil01] und [STD01].

¹⁰ 2001 wurden erste, größere Konferenzen in San Francisco und Washington abgehalten (<http://conferences.oreilly.com/archive.html>). Weitere einschlägige Beispiele sind: "International Conference on Peer-to-Peer Computing" (IEEE, Schweden, 2001) und "1st International Workshop on Peer-to-Peer Systems" (MIT und Microsoft, Cambridge, MA, USA, 2002).

¹¹ Vgl. die ausführliche Darstellung von Hummel in diesem Band [Hum02] sowie [Ort01].

File-Sharing

File-Sharing-Anwendungen kombinieren Suchalgorithmen mit Verfahren der dezentralen Speicherung von Daten. Dies versetzt Anwender beispielsweise in die Lage, Dateien direkt von der lokalen Festplatte eines anderen Nutzers zu beziehen. Die Technik stellt die Möglichkeit in Aussicht, im betrieblichen Umfeld kostenintensive, zentrale Massenspeicher-Lösungen gegen eine dezentrale Datenhaltung auf vorhandenen Desktop-PCs zu ersetzen und eliminiert damit typische single-point-of-failure-Schwachstellen.

Prominente Beispiele für (nichtkommerzielles) File-Sharing sind Gnutella, Napster und Freenet.

Gnutella ist ein Protokoll für den Datenaustausch in dezentralen Netzwerken. Netzwerke, die auf der Gnutella-Technologie basieren, kommen damit ohne zentrale Instanzen aus, d.h. alle Peers sind gleichberechtigte Entitäten innerhalb des Netzes. Suchanfragen funktionieren dabei nach dem „Schneeballprinzip“: Eine Suchanfrage wird an eine bestimmte Anzahl von Peers weitergeleitet. Diese leiten die Anfrage wiederum an verschiedene Knoten weiter, bis die gewünschte Datei gefunden oder eine zuvor bestimmte Suchtiefe erreicht wird. Positive Suchergebnisse werden dann an den Nachfrager gesendet, so dass dieser die gewünschte Datei direkt von dem Anbieter herunterladen kann.

Durch das Fehlen einer zentralen Komponente ist eine Überwachung oder Abschaltung von Gnutella-basierten Netzen kaum möglich. Darin liegt einer der wesentlichen Unterschiede zu der bereits erwähnten und mittlerweile infolge rechtlicher Verfahren eingestellten Musiktatschbörse *Napster*¹²: Napster ist kein reines P2P-System, da ein zentraler Datenbank-Server Suchanfragen verwaltet. Sobald sich ein Peer in das Napster-Netzwerk einloggt, werden vom Napster-Server die Dateien registriert, die der Anwender zur Verfügung stellt. Bei einer Suchanfrage liefert der Napster-Server eine Liste mit Peers, die die gewünschte Datei zum Download bereitstellen. Der Anwender kann dann eine direkte (serverlose) Verbindung zu den Anbietern aufbauen und die Dateien beziehen.

Freenet schließlich ist ein dezentrales Netzwerk zum Speichern und Austausch von Informationen, welches ebenso wie Gnutella-basierte Netze ohne zentrale Instanz auskommt. Entwickelt wurde Freenet von Ian Clarke mit dem Ziel, ein Netzwerk zu schaffen, in dem Informationen anonym bezogen und zur Verfügung gestellt werden können. Die Dateien werden zu diesem Zweck verschlüsselt auf den PCs der teilnehmenden Peers gespeichert. Die Peers wissen dabei nicht, welche Daten auf ihrer Festplatte abgelegt werden.

¹² Vgl. [Shi01] und [Mil01]. Napster, Inc. wurde 1999 gegründet und musste infolge eines Beschlusses des U.S. Court of Appeals bereits im Februar 2001 seinen Dienst wieder einstellen (vgl. Miller 2001, S.118). Bis zu diesem Zeitpunkt hatte die populäre Musiktatschbörse knapp 50 Millionen Anwender.

Grid Computing

Grid Computing bezeichnet die koordinierte Nutzung geographisch verteilter Rechenressourcen. Der Begriff Grid Computing ist eine Analogie zu herkömmlichen Stromnetzen (engl. power grids): Dem Anwender¹³ soll größtmögliche Rechenleistung uneingeschränkt und ortsunabhängig zur Verfügung stehen. Dazu wird ein Verbund aus unabhängigen, vernetzten Rechnern geschaffen. Die Idee besteht darin, dass Rechengrenzen nicht mehr wahrnehmbar sind und die Gesamtheit der vernetzten Knoten zu einem logischen Rechner zusammengefasst werden. Aufgrund der weitreichenden und flexiblen Vernetzungsmöglichkeiten ermöglicht Grid Computing außergewöhnlich hohe Rechenkapazitäten, wie sie z.B. für Rechenoperationen in der Genomanalyse benötigt werden.¹⁴

Eines der ersten und bekanntesten Projekte, welches dem Ideal des Grid Computing jedoch nur in Form einer ersten Näherung entspricht, ist Seti@Home¹⁵ (<http://setiathome.berkeley.edu>). Seti (Search for Extraterrestrial Intelligence) ist eine wissenschaftliche Initiative der Universität von Kalifornien, Berkeley, mit dem Ziel, Funksignale extraterrestrischer Intelligenzen aufzuspüren. Zu diesem Zweck wird von einem in Puerto Rico stationierten Radioteleskop ein Teil des elektromagnetischen Spektrums aus dem All aufgezeichnet. Diese Daten werden zum zentralen Seti@Home-Server in Kalifornien geschickt. Hier macht man sich die Tatsache zunutze, dass der größte Teil der Rechenkapazität von privat und beruflich verwendeten PCs ungenutzt bleibt. Statt die Datenpakete an einen kostspieligen Supercomputer zu übergeben, teilt der Seti-Server diese in kleine Einheiten und schickt sie an die über 3 Millionen Rechner von Freiwilligen, die sich mittlerweile in diesem Projekt engagieren. Der Seti-Client führt die Berechnungen dann in den CPU-Leerlaufzeiten¹⁶ aus und schickt die Ergebnisse anschließend zurück.

Weitere bekannte kooperative Problemlösungsumgebungen die in großem Maße Rechenleistung akkumulieren, um Probleme aus der Klasse der sogenannten

¹³ Unter Anwender versteht man hier vornehmlich dynamische, mehrere Institutionen umfassende virtuelle Organisationen.

¹⁴ Vgl. [FK99], [FKT01] und [Fos02].

¹⁵ Seti@Home wird in der Fachliteratur durchgängig als Musterbeispiel für eine P2P-Anwendung angeführt. Diese Einschätzung lässt sich jedoch problematisieren, denn auf den ersten Blick wirkt Seti@Home wie eine klassische Client/Server-Applikation. Ein zentraler Server verteilt Datenpakete und versendet diese an entsprechende Clients. Diese arbeiten die ihnen zugewiesenen Aufgaben ab und senden die Resultate zurück. Dabei gibt es keine Kommunikation zwischen den einzelnen Clients. Dennoch weist Seti@Home P2P-Charakteristika auf: Die wesentlichen Dienste und Ressourcen werden von den Peers (Clients) zur Verfügung gestellt, da diese sämtliche Berechnungen durchführen. Sie übernehmen damit klassische Serverfunktionalität. Ferner schöpft Seti@Home ungenutzte CPU-Leerlaufzeiten aus. Die Peers sind dabei weitgehend autonom, da sie bestimmen, ob und wann die Seti@Home-Software Rechenaufgaben abarbeiten darf.

¹⁶ Insbesondere während der Bildschirmschoner des Anwenders läuft.

„Grand Challenges“¹⁷ zu lösen, sind FightAIDS@Home (Intel), Folding@Home, Genome@Home oder Evolution@Home.¹⁸

Collaboration / P2P-Groupware

Unter Groupware versteht man Software zur Unterstützung der Kommunikation, Kooperation und Koordination von Arbeits- bzw. Personengruppen.¹⁹ Die Entwicklung entsprechender Programme begann bereits in den 70ern²⁰ und findet ihren prominentesten Vertreter in Lotus Notes. Neue Produkte wie Groove²¹ dokumentieren, dass P2P-Technologien dazu geeignet sind, die Funktionalität entsprechender Anwendungen erheblich zu erweitern. So erlaubt P2P-Groupware die spontane Formierung und Administrierung von Arbeitsgruppen über Unternehmensnetzwerke und Firewalls hinweg. Unter Verwendung von File-Sharing-Technologie ist eine vollkommen dezentrale Datenhaltung, asynchrone Interaktion und ein dezentrales Gruppenmanagement möglich.²²

Web Services

Aufgrund ihres noch un abgeschlossenen Charakters sind Web Services weniger als eigenständiger Anwendungsbereich von P2P zu sehen – sie repräsentieren vielmehr Funktionalitäten, die bestehende Kommunikationsinfrastrukturen (einschließlich P2P-Netzwerken) anreichern können und damit eine effizientere Interaktion der Entitäten respektive Peers – etwa durch erhöhte Interoperabilität – ermöglichen. Neben P2P gelten Web Services als besonders vielversprechende Entwicklung für zukünftige Transaktionen im Electronic Business.²³ Und obwohl sich beide Konzepte derzeit getrennt voneinander entwickeln, weisen sie eine Reihe von Gemeinsamkeiten auf.²⁴ Beide orientieren sich an der Service Oriented Architecture (SOA)²⁵, die auf die verteilte Bereitstellung von Diensten – beispielsweise in Form von Funktionen, Objekten und Komponenten – abzielt, die über das Internet erreichbar sind und miteinander kommunizieren können. Für die Zukunft

¹⁷ Vgl. [BG02].

¹⁸ Links zu diesen und weiteren Projekten finden sich unter www.rechenkraft.de.

¹⁹ Vgl. u.a. [Obe91].

²⁰ Vgl. [MKS97].

²¹ <http://www.groove.net>.

²² Vgl. [STD01], [Bar01, S. 252 ff.] und [Mil01, Kap. 4].

²³ Vgl. [VN02]. Ein Indiz für die weitreichende Bedeutung von Web Services sind die ehrgeizigen Initiativen der großen Marktspieler, wie .NET (Microsoft, <http://www.microsoft.com/net/>), Sun ONE (Sun Microsystems, <http://www.sun.com/sunone/>) oder WebSphere (IBM, <http://www.ibm.com/websphere>).

²⁴ Vgl. dazu den Beitrag von Weinhardt und Wojciechowski in diesem Band.

²⁵ Vgl. [Sch01] und [Yau01].

ist gegebenenfalls die Konvergenz beider Ansätze zu erwarten, so dass jeder aus den Vorteilen des anderen schöpfen kann.²⁶

Ein Web Service ist eine über ein Netzwerk erreichbare Schnittstelle, die den Zugriff auf die Funktionalität einer Anwendung ermöglicht und die mit Hilfe von Standard-Internettechnologien implementiert wird. Kann also auf eine Anwendung über das Internet mit einer Kombination von Protokollen wie HTTP, SMTP oder Jabber²⁷ zugegriffen werden, so spricht man von einem Web Service.²⁸

Im Sinne dieser Definition sind bereits Webseiten, welche Funktionen wie das Publizieren und Durchsuchen von Inhalten auf der Basis von HTTP und HTML zur Verfügung stellen, die einfachste Form von Web Services. Das Web Service-Konzept geht allerdings qualitativ deutlich über diese einfache Anwendungsform hinaus, da die standard-basierten Schnittstellen in der Lage dazu sind, entfernte Methodenaufrufe (*remote procedure calls*) von beliebigen (proprietären) Plattformen zu dekodieren und an die angesprochene Anwendung weiterzureichen. Web Services ermöglichen damit eine plattformunabhängige Kommunikation zwischen Applikationen.²⁹

Web Services sind nicht monolithisch sondern repräsentieren vielmehr eine verteilte Service-Architektur.³⁰ Dabei umfassen Web Services-Architekturen drei Instanzen: Konsument (*service consumer*), Anbieter (*service provider*) und Verzeichnis (*service registry*).³¹

Ein Service-Anbieter veröffentlicht eine Beschreibung seines Dienstes über ein Service-Verzeichnis.³² Der Service-Nachfrager – eine Maschine oder Person – kann die entsprechenden Verzeichnisse nach einem Dienst, der seinen Bedürfnissen gerecht wird, durchsuchen. Nachdem der gewünschte Service gefunden wurde und ggf. Details über Protokolle und Nachrichtenformate ausgetauscht wurden, kann eine dynamische Anbindung von Anbieter und Nachfrager erfolgen.

²⁶ Vgl. [Sch01], [Yau01] und den Beitrag von Foster/Kesselman/Tuecke in diesem Band.

²⁷ <http://www.jabber.org>

²⁸ Vgl. [STK02] und [Cer02].

²⁹ Waren Java- und Microsoft-Windows-basierte Lösungen bisher schwer zu integrieren, so verspricht der Einsatz einer Web Services-Schicht zwischen entsprechenden Applikationen eine deutliche Reduzierung auftretender Friktionen.

³⁰ Web Services stehen damit in der Tradition von Middleware Systemen wie CORBA (Common Object Request Broker Architecture), COM (Component Object Model) und J2EE (Java 2 Enterprise Edition). Verglichen mit den heute eingesetzten – z.B. auf dem J2EE-Modell basierenden – verteilten Web-Anwendungen werden mit Web Services die bisher nur intern verwendeten Dienste von Enterprise Java Beans, DCOM- oder CORBA-Komponenten nach außen, d.h. über Unternehmensgrenzen hinweg bekannt und nutzbar gemacht (vgl. [Vin02]).

³¹ Vgl. [STK02].

³² Hier scheinen sich infolge gemeinsamer Bemühungen der größten Marktspieler UDDI (Universal Description, Discovery and Integration) und die Web Service Inspection Language (WS-Inspection) als Standards durchzusetzen.

Die nötigen Funktionalitäten können dabei „spät“³³ (zur Laufzeit) eingebunden werden. Diese spontane just-in-time-Integration³⁴ wird erst mit der Web Services-Architektur ermöglicht und ist mit herkömmlichen Entwicklungsmodellen für Internet-Applikationen nicht realisierbar. Der Fokus bei den Architekturüberlegungen zur Erstellung von Internet-Anwendungen kann sich infolgedessen in der konzeptionellen Phase eines Projekts von der Plattformwahl oder -integration hin zu einer verstärkt funktionellen Analyse der Anforderungen der Geschäftsdomäne verschieben. Bis zur vollen Entfaltung der Technologien dürfte jedoch noch einige Zeit verstreichen, da sich grundlegende Standards noch in der Entwicklung befinden und noch architektonische Lücken geschlossen werden müssen.³⁵

Herausforderungen

Obleich z.B. Instant Messaging bereits vielfach Einzug in betriebliche Abläufe gefunden hat, ist dies den übrigen P2P-Anwendungen nicht zu bescheinigen. Damit sich diese im industriellen Umfeld weiträumig etablieren können, gilt es noch eine Reihe grundlegender Herausforderungen zu bewältigen. Hierzu werden im Folgenden zunächst ökonomische und juristische Herausforderungen thematisiert. Im Weiteren werden dann spezielle technische (bislang weitgehend ungelöste) Fragen³⁶ aufgeworfen, von deren Beantwortung maßgeblich das Potential von P2P für die Unternehmenspraxis abhängen wird.

Ökonomische Herausforderungen

Aus ökonomischer Perspektive steht die Beantwortung der betriebswirtschaftlichen Nutzenpotentiale, die zweckmäßige Gestaltung von tragfähigen Geschäftsmodellen, die mit oder durch P2P-Technologien Bestand haben, die Stärke innovationsökonomischer, negativer Anreizwirkungen sowie, in industrieökonomischer Perspektive, der Grad des Umbaus von Wertschöpfungsketten, noch aus.³⁷

Betriebswirtschaftliche Nutzenpotentiale

Betriebswirtschaftlich unbeantwortet ist die Frage, ob und in welchem Ausmaß P2P gegenüber anderen Architekturkonzepten wie etwa Client/Server Vorteile besitzt. Erste Erkenntnisse weisen darauf hin, dass der Verzicht auf zentrale Koordination durch eine deutlich erhöhte Kommunikationstätigkeit und damit Höherbe-

³³ Dies verhält sich analog zum sogenannten *late binding* in der Objektorientierten Programmierung.

³⁴ Vgl. [STK02].

³⁵ Vgl. [Bet01].

³⁶ Vgl. zum Folgenden [Ora01a] und [Bar01].

³⁷ Vgl. zur Betonung des social impact von P2P [Ora01c] und [Ora01b].

lastung der Netze erkaufte werden muss. Offen ist auch, ob dezentrale (Selbst-) Kontrolle mit den Herausforderungen (vgl. die nächsten Abschnitte) u.a. hinsichtlich Datenqualität, dauerhafter Verfügbarkeit, Sicherheit und (fairer) Kostenaufteilung umgehen kann. Inwieweit sich Unternehmen P2P zu Nutzen machen können, wird dementsprechend kontrovers diskutiert.

Geschäftsmodelle mit oder durch P2P-Technologie

In der jüngeren Historie von P2P-Technologie lassen sich bereits Höhen und Tiefen der Bewertung von P2P-Technologien ausmachen. So listen etwa Startvantage, Peerprofit und Peertal³⁸ mehrere Dutzend Links von Unternehmen auf, die entweder mit (z.B. als Berater oder Softwareentwickler) oder durch (z.B. als Infrastrukturdienstleister) P2P-Technologie Geschäftsmodelle aufzubauen versuchen. Darunter finden sich zahlreiche Start-Ups mit negativem Cash flow, möglicherweise auch in der Hoffnung und in der Erwartungshaltung, unter den ersten einer vielleicht auftretenden „nächsten großen dot.com-Welle“ zu sein. Während einige Initiativen und Geschäftsmodelle bereits wieder vom Markt verschwunden sind, finden sich gleichzeitig (einige wenige) umfangreich finanzierte Start-Ups, darunter Groove (Bereich P2P Groupware) mit einem Finanzierungsvolumen von mindestens 60 Millionen USD, Entropia (Bereich Grid/Distributed Computing) mit 29 Millionen USD, NextPage (Bereich P2P Groupware) 20 Millionen USD und United Devices (Bereich Grid/Distributed Computing) mit 13 Millionen USD.

Zu bedenken ist, dass P2P für sich genommen nicht zwangsläufig ein tragfähiges Geschäftsmodell darstellt. Es handelt sich bei P2P primär um eine Technologie, die aufgrund des betont dezentralen Charakters der damit gebildeten P2P-Netzwerke bzw. -Architekturen Nutzenpotentiale verspricht. Dies schließt nicht aus, dass Unternehmen auf Grundlage von P2P verbunden mit Mehrwertdiensten sehr wohl attraktive Lösungen bereitstellen können. Viele junge Unternehmen bieten auf Grundlage von P2P Software für betriebliche Anwendungsprobleme an. Darunter finden sich Lösungsvorschläge für Content Management, insbesondere für Fragen der Suche, Speicherung, (Echtzeit-) Verteilung (content delivery) sowie für Wissensmanagement. Ein weiteres Anwendungsfeld ist die konsequent dezentrale Organisation von Marktplätzen innerhalb von virtuellen Gemeinschaften auf Grundlage von P2P (z.B. www.gnumarkets.com). Ein weiterer Ansatz ist die Anreicherung bestehender Geschäftsmodelle respektive von Softwaresystemen mit P2P-Anwendungen. Die großen Portale wie Yahoo! und AOL versuchen mit Instant Messaging-Systemen einen Mehrwert zu stiften, der sich positiv auf das Verkehrsaufkommen (site traffic) und die Kundenbindung auswirken soll. Dabei ist eine interessante Dynamik, der Abschottung einerseits und der Öffnung derartiger Systeme durch Drittanbieter andererseits, zu beobachten. So ist etwa der AOL Instant Messenger nicht kompatibel mit anderen IM-Systemen der Wettbewerber. Gleichzeitig versucht etwa das FreeIM Konsortium (www.freeim.org) oder das Jabber Open Source Project (www.jabber.com) genau diesen Mehrwert für

³⁸ <http://www.stratvantage.com/directories/p2pcos3.htm>, <http://www.peerprofit.com> sowie <http://www.peertal.com>.

Nutzer zu generieren, indem es die Funktion eines Kompatibilitäts-stiftenden Konverters zwischen diesen Systemen darstellt. Jabber-Kunden können damit mit ihren jeweiligen Peers ebenfalls IM betreiben, unabhängig davon, welches (an sich „geschlossene“) IM-System sie tatsächlich nutzen.

P2P und Innovationsökonomie

Den enormen Erfolg von P2P-Technologie belegen die populären File-Sharing-Systeme à la Napster und ihre Nachfolger bzw. ihre „Verwandten“ wie Gnutella mit einem Millionenpublikum. Von mehreren 100.000 (potentiell nicht legitimierter) Downloads aktueller Hollywood-Filme und der Bereitstellung digitaler Musikdateien – in Einzelfällen sogar *vor* offizieller Marktveröffentlichung – wird berichtet. Aus innovationsökonomischer Sicht stellt sich die Frage nach negativen Anreizwirkungen dieser Entwicklung, deren Ende noch nicht abzusehen ist: Grundsätzlich könnte sich die Verfügbarkeit auf jedwede digital vorliegende Information beziehen, also nicht „nur“ Musik- und Videodateien sondern eben Bücher, (teure) Marktstudien, Prozess- und Produktwissen etc. Die offensichtlich³⁹ betroffene Medienindustrie ruft nach Gegenmaßnahmen etwa in Form deutlich verschärfter Copyrightbestimmungen.

Die Frage bleibt, ob nicht durch denkbare Umgehung rechtlicher und technischer Schutzsysteme nach wie vor eine Vermarktung von geldwertem geistigen Eigentum so erschwert wird, dass für Marktspieler der Anreiz zu innovieren, also z.B. neue Musik zu erstellen, verloren ginge.⁴⁰

P2P und Wertschöpfungsketten

Vor allem das Beispiel File-Sharing liefert zahlreiche Indizien für einen Umbau von Wertschöpfungsketten – zumindest in der Medienindustrie, deren Produkte sich prinzipiell leicht digitalisieren lassen. *Hummel* und *Lechner* analysieren die Verlagerung von typischen Wertschöpfungsschritten, so etwa Produktdesign, insbesondere die Zusammenstellung (Ent-Bündelung und Bündelung) von Informationen, Vertrieb etc. hin zu neuen Intermediären oder auch zum Endkonsumenten.⁴¹ Nicht immer wird dabei eine neue Wertschöpfungskette vollzogen, allerdings ver-

³⁹ Dabei ist die „Offensichtlichkeit“ nicht so eindeutig, wie es der erste Anschein suggerieren und die Medienindustrie selbst einzuschätzen vermag. Der objektiv festzustellende Rückgang der Medienindustrieumsätze der letzten Jahre kann auch konjunkturelle und künstlerische Gründe haben. Des Weiteren gibt es Anzeichen, dass bestimmte Nutzergruppen sich sogar durch Napster und Co. intensiver mit Musik auseinandergesetzt haben und in Summe mehr Medientitel gekauft hätten als ohne diese Tauschbörsen. Vgl. diverse Erhebungen, z.B. die viel zitierte Studie (so z.B. von WIRED <http://www.wired.com/news/culture/0,1284,37018,00.html> oder Detroit Free Press http://www.freep.com/money/tech/nstat28_20000728.htm) von Yankelovich Partners, März 2000.

⁴⁰ Vgl. zur Analyse der möglichen Bedrohung der Videoindustrie durch elektronische Tauschbörsen den Beitrag von Hess/Anding/Schreiber in diesem Band.

⁴¹ Vgl. [HL01].

schieben sich die „Kräfteverhältnisse“ zu Gunsten der Endkonsumenten. Tendenziell erhalten die Endkonsumenten (nicht notwendigerweise von den traditionellen Marktspielern erwünscht) mehr (Selbst-)Kontrolle über wertschöpfende Schritte. Diese Entwicklung wird treffend mit „Napsterization“⁴² bezeichnet.

Juristische Herausforderungen

Gestaltung und Durchsetzung von Urheberrecht

Da P2P-Systeme einen vergleichsweise einfachen Zugang zu digital vorliegenden Informationen erlauben, werden auch aus juristischer Perspektive zahlreiche Fragen aufgeworfen. Während zumindest auf nationaler Ebene einzelner Länder recht umfangreiche Rechtsinstitutionen vorliegen, die eine Antwort auf eine Fülle juristisch diskutierter Fragen im Zusammenhang mit P2P-Diensten geben können (siehe insbesondere in diesem Band den Beitrag von *Hoeren* zu urheberrechtlichen Fragen) bleiben aus einer übergeordneten Perspektive grundsätzliche Fragen unbeantwortet. Unklar ist etwa – und hier existieren zumindest keine einfachen, offensichtlichen Lösungen – wie z.B. P2P-Dienste („elektronische Tauschbörsen“), wenn sie überhaupt als solche an identifizierbare, physikalisch eindeutig lokalisierbaren Server geknüpft sind, gegebenenfalls „auszuschalten“ sind. Dieser Aspekt ist umso prekärer, als dass P2P-Netzwerke etwa auf Grundlage der Gnutella-Technologie nicht über zentrale Knoten verfügen müssen und deshalb derartige Tauschsysteme technisch prinzipiell nicht zentral abschaltbar sind. Entsprechende juristische (Schreibtisch-)Lösungen scheinen also nicht ohne weiteres durchsetzbar zu sein. Verbunden damit ist die grundsätzliche Frage der juristischen Weiterentwicklung der relevanten Rechtsinstitutionen, die die Rechte der „Ersteller“ von geistigem Eigentum schützen sollen, insbesondere das Urheberrecht/Copyright. *Lessig* vermutet im Zusammenhang mit dem massiven Vorstoß der (amerikanischen) Medienindustrie, die die Copyright-Gesetzgebung zu Lasten der Konsumenten seiner Meinung nach zu stark zu verschärfen versuchen, eine übermäßig restriktive Reaktion, die sich grundsätzlich negativ auf die Neuentwicklung und die Weitergabe nebst Aufgreifen von Ideen auswirken könnte.⁴³ Ein „Lösungsvorschlag“ seitens der Medienindustrie ist dabei, das (private) Speichern von digitalen Inhalten beim Endkonsumenten zu untersagen und etwa organisatorisch zu bewirken, dass zu konsumierende Medieninhalte jeweils fallweise und individuell per „Streaming“ einzeln kontrolliert geliefert und bezahlt werden müssen. Eine derartige rechtlich-technisch-organisatorische Lösung setzt allerdings bedeutende Fortschritte eines funktionierenden Digital Rights Management voraus. Erfahrungen zeigen allerdings, dass bislang kein nachhaltig funktionierendes (d.h. nicht „knackbares“) DRM-System existiert. Kritische Stimmen behaupten sogar, dass es ein derartiges System prinzipiell nicht geben kann.

⁴² Vgl. [McA00].

⁴³ Vgl. [Les01], [HAS02] und [CNR02].

Technische Herausforderungen

Interoperabilität

Interoperabilität bezeichnet die Fähigkeit einer Entität (Device oder Applikation), mit anderen Entitäten zu kommunizieren, von ihnen verstanden zu werden und mit ihnen Daten zu tauschen.⁴⁴

Von diesem Zustand ist die heutige P2P-Welt weit entfernt, denn beinahe alle Applikationen verwenden proprietäre Protokolle und Schnittstellen, d.h. eine anwendungs- und netzwerkübergreifende Interoperabilität ist in aktuellen P2P-Netzen in der Regel nicht möglich.

Derzeit werden Bestrebungen vorangetrieben, eine gemeinsame Infrastruktur (Middleware) mit standardisierten Schnittstellen für P2P-Anwendungen zu schaffen.⁴⁵ Damit wird das Ziel verfolgt, Interoperabilität zwischen unterschiedlichen Hardware- und Softwareplattformen herzustellen. Das soll zu kürzeren Entwicklungszeiten und einer einfacheren Anbindung von Anwendungen an bestehende Systeme führen. Getrieben werden diese Bemühungen von der Idee, ein 'einheitliches Betriebssystem für das Web' zu schaffen.⁴⁶

Derzeit wird im Kreis des W3-Konsortiums (www.w3c.org) und der P2P Working Group (www.p2pwg.com), die von Intel ins Leben gerufen wurde, diskutiert, welche Architekturen und Protokolle für dieses Vorhaben geeignet erscheinen.

Vertrauen

Virtuellen Kooperationsstrukturen sind Grenzen gesetzt. Das trifft auf P2P-Anwendungen in besonderem Maße zu, denn die Öffnung des eigenen Systems für den Zugriff anderer verlangt Vertrauen als konstituierendes Element. Grenzen des Vertrauens bilden damit auch Grenzen der Kooperation in P2P-Netzwerken.

Unter Vertrauen wird hier in Anlehnung an *Ripperger*⁴⁷ die „freiwillige Erbringung einer riskanten Vorleistung unter Verzicht auf explizite rechtliche Sicherungs- und Kontrollmaßnahmen gegen opportunistisches Verhalten“ verstanden. Dies geschieht auf Basis der Erwartung, dass „der Vertrauensnehmer freiwillig auf opportunistisches Verhalten verzichtet“. Ideale Systeme würden infolgedessen erfordern, dass es keine Unsicherheiten hinsichtlich der technischen Gegebenheiten des Systems und des Verhaltens der beteiligten Entitäten gibt, so dass dem System kein Vertrauen entgegengebracht werden müsste. Entsprechende Implementierungen sind jedoch aus heutiger Sicht nicht vorstellbar.

Man benötigt demzufolge Konzepte, welche die Ausbildung von Vertrauen zwischen Kommunikationspartnern ermöglichen. Geeignet erscheinen hierfür *Sicherheit*⁴⁸ und *Reputation*^{49, 50}.

⁴⁴ Vgl. [Loe00].

⁴⁵ Vgl. [Bar01].

⁴⁶ Vgl. [Bar01].

⁴⁷ [Rip98].

⁴⁸ Vgl. [UAT01].

Sicherheit

Effektive Sicherheitsmechanismen gehören aufgrund der hinlänglich bekannten Bedrohungen für vernetzte Systeme zu den wichtigsten und komplexesten Anforderungen an eine moderne IT-Infrastruktur. Der Einsatz von P2P-Technologien bringt in vielen Fällen eine Fülle neuer, potenzieller Schwachstellen mit sich. Zum einen erfordert die Verwendung von P2P-Anwendungen häufig, Dritten den Zugriff auf die Ressourcen des eigenen Systems zu gewähren – beispielsweise um Dateien gemeinsam zu nutzen oder CPU-Laufzeiten zu teilen. Die Öffnung eines Systems zum Zweck der Kommunikation oder des Zugriffs anderer kann dabei kritische Seiteneffekte haben. So werden bei der direkten Kommunikation in P2P-Netzen häufig konventionelle Sicherheitsmechanismen, wie die Firewall-Software von Unternehmen, umgangen. Damit können u.a. Viren und Trojaner in Unternehmensnetzwerke gelangen, die anderweitig abgefangen worden wären. Ein weiteres Beispiel ist die Kommunikation über Instant Messaging-Software. Die Kommunikation findet vielfach unverschlüsselt statt, so dass gegebenenfalls sensible Firmendaten abgehört werden können.

Probleme ergeben sich ferner, wenn man garantieren möchte, dass Daten, die über heterogene Systeme hinweg verteilt werden, nur für autorisierte Nutzer zugänglich sind.

Um P2P für den betrieblichen Einsatz interessant zu machen, müssen die entsprechenden Anwendungen aus den genannten Gründen Verfahren und Methoden der Authentifizierung, Autorisierung, Verfügbarkeit, Datenintegrität und Vertraulichkeit zur Verfügung stellen.⁵¹

Unter *Authentifizierung* versteht man dabei die Verifizierung der Identität von Entitäten. Das ist gleichbedeutend damit, dass Kommunikationspartner⁵², die Zugriff auf Ressourcen erhalten, auch die sind, für die Sie sich ausgeben.

Autorisierung beschreibt einen der Authentifizierung nachgeschalteten Prozess, der Berechtigungen für den Zugriff und die Nutzung bestimmter Ressourcen regelt. Der Besitzer einer Ressource kann damit kontrollieren, ob, wann und in welchem Maße diese von anderen genutzt wird. Im einfachsten Fall prüft der Autorisierungsmechanismus eines Peers die Anfrage eines anderen Peers und entscheidet dann anhand einer Zugriffsberechtigungsliste (*access control list*), ob der Zugriff gewährt wird oder nicht. In solchen Umgebungen besteht die Möglichkeit, „öffentliche“ und für Externe unzugängliche Bereiche voneinander zu trennen.

Verfügbarkeit bedeutet, dass jeder ein entsprechendes P2P-System nach festgelegten Regeln benutzen kann und Ressourcen innerhalb von P2P-Netzwerken bei Bedarf auch tatsächlich zur Verfügung stehen. Die zuverlässige Bereitstellung von Ressourcen sieht sich dabei vor das Problem intermittierender Konnektivität potenzieller Anbieter gestellt. Das bedeutet, dass Knoten des Netzwerkes sporadisch online oder offline sein können und auch nicht notwendigerweise über eine dauer-

⁴⁹ Vgl. [Let01].

⁵⁰ Vgl. [WCR01].

⁵¹ Vgl. [Bar01, Kap. 9].

⁵² Gemeint sind hier Personen oder Applikationen.

hafte IP-Adresse oder URL identifizierbar sind. Dies impliziert, dass benötigte Dienste oder Quellen nicht gefunden werden können, da der Peer zeitweise oder gänzlich nicht im Netzwerk verfügbar ist. Ferner besteht die Gefahr, dass ein Peer, welcher mit Abarbeitung einer Aufgabe beschäftigt ist, den Prozess vor der Fertigstellung abbricht und das Netzwerk verlässt. Da die Autonomie in P2P-Umgebungen per definitionem bei den Peers liegt, wird diese Problematik auch in Zukunft erhalten bleiben.⁵³ Auch der übermäßige Gebrauch von Bandbreite kann die Verfügbarkeit bestimmter Ressourcen drastisch einschränken.

Eine Möglichkeit, die Verfügbarkeit (und damit die Fehlertoleranz) zu verbessern, besteht in der Schaffung von Redundanzen und des Einsatzes von Replikationsmechanismen. Ein gutes Beispiel für entsprechende Ansätze sind File-Sharing Applikationen: Zumeist stehen die betreffenden Dateien auf mehreren Rechnern zur Verfügung, so dass eine entsprechende Kopie mit hoher Wahrscheinlichkeit gefunden werden kann, unabhängig davon, ob ein bestimmter Peer online ist oder nicht.

Damit bieten P2P-Netzwerke Vorteile gegenüber herkömmlichen Client-Server-Architekturen. So sind sie beispielsweise besser gegen Ausfälle geschützt, da Daten und Ressourcen redundant über das Netz verteilt sind, wogegen der Ausfall des zentralen Servers in einer Client-Server-Umgebung zu einem Ausfall des gesamten Systems führt (single point of failure).⁵⁴ Der Zugriff auf mehrfach vorhandene Ressourcen geht zugleich mit einem verbessertem load-balancing einher, da nicht jede Anfrage eines Clients von nur einem Server verarbeitet werden muss.⁵⁵

Verfügbarkeitsprobleme, die im Bereich des privaten Dateitauschs unkritisch erscheinen, gewinnen bei betrieblichen Anwendungen schnell kritische Relevanz, da ggf. nicht toleriert werden kann, dass Ressourcen temporär nicht verfügbar sind. Erschwerend kommt hinzu, dass redundante Daten Probleme hinsichtlich eines Versionsabgleichs mit sich bringen. Hier können effiziente Synchronisationsmechanismen helfen, die über unterschiedliche Datenträger hinweg dafür Sorge tragen, dass sämtliche Daten auf dem neuesten Stand bleiben.⁵⁶

Die *Integrität und Vertraulichkeit von Daten* stellt schließlich darauf ab, dass Daten beim Transfer innerhalb des Netzwerkes nicht von unautorisierten Personen oder Applikationen modifiziert, gelöscht oder eingesehen werden können.

In diesen Bereichen besteht noch erheblicher Entwicklungsbedarf, da viele P2P-Applikationen keine entsprechenden Sicherheitsprozesse unterstützen.⁵⁷

⁵³ Vgl. [Bar01, S. 278].

⁵⁴ Vgl. [Min01] und [Min02].

⁵⁵ Diese Argumentation ist insofern etwas ungenau, als in Client-Server Systemen nicht zwangsläufig nur ein Server verwendet wird. So betreiben beispielsweise häufig frequentierte Internet-Portale wie Yahoo! mehrere Server, um große Anfragevolumina bewältigen zu können.

⁵⁶ Vgl. [PSW01]. Ansätze dafür gibt es beispielsweise im Bereich Storage Area Networks (SAN) und Networked Attached Storage (NAS).

⁵⁷ Vgl. den Beitrag von Damker in diesem Band. Dort werden auch P2P-Systeme vorgestellt, die die genannten Sicherheitsmaßnahmen bereits weitgehend integriert haben.

Dieser Zustand mag sich aus der Historie von P2P-Systemen erklären. Viele der ersten P2P-Systeme entstammen nicht-kommerziellen Anwendungsbereichen, in welchen Sicherheitsaspekte für die Peers eine untergeordnete Rolle spielten. Mit der Erweiterung um oder der Verschiebung hin zu kommerziellen Einsatzszenarien im innerbetrieblichen wie überbetrieblichen Kontext kommen allerdings neue Sicherheitsanforderungen hinzu.

Reputation

Da Sicherheit keine stabile, sondern eine reaktive Technologie ist, die immer dem technischen Fortschritt folgt,⁵⁸ kann eine vollständige Reduzierung von Sicherheitsrisiken nicht gewährleistet werden. Dieses Problem wirkt sich in P2P-Netzwerken besonders nachteilig aus, da die rasch evolvierenden P2P-Applikationen besonders hohe Anforderungen an die Entwicklung und Flexibilität von Schutzmechanismen stellen. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, können unterstützende Maßnahmen, die auf den Aufbau von Reputation abzielen, Verwendung finden.

Reputation ist die (öffentliche) Information über das bisherige Verhalten eines Akteurs. Psychologische und spieltheoretische Untersuchungen zeigen, dass positive Reputation positiv mit der Vertrauensbildung korreliert. Ursächlich dafür ist, dass Reputation bzw. die Angst vor einem Reputationsverlust bei opportunistischem Verhalten und einer daraus resultierenden Verringerung künftiger Kooperationsgewinne, ein wirksames Sicherungsgut innerhalb einer Vertrauensbeziehung darstellen.

Reputation ist ein wichtiges Element für die Bildung von Vertrauen in P2P-Netzwerken. Hier erscheint es vorteilhaft, technische Reputationsmechanismen zu entwickeln, die geeignet sind, die Sammlung und Auswertung von Informationen über vergangene Transaktionen zu automatisieren. Damit können Anwender eine bessere Einschätzung über das zukünftige (Wohl-)Verhalten des Transaktionspartners vornehmen⁵⁹

Metadaten

Bei erweitertem Einsatz von P2P-Technologie tritt das Problem auf, Informationen auffindbar zu machen, die deutlich schwieriger zu akkumulieren sind als beispielsweise MP3-Dateien. Um dazu Rohdaten in verwertbare Informationen um-

⁵⁸ Vgl. [EM01, S. 28].

⁵⁹ Vgl. den Beitrag von Eymann/Eggs/Sackmann/Müller in diesem Band.

Zwei prominente P2P-Anwendungen machen bereits Gebrauch von Reputationsmetriken: OpenCola, ein Anbieter von Content Management Software (www.opencola.com) und das Micropayment System Mojo Nation (www.mojonation.net). OpenCola bildet Reputationsmetriken auf Basis der Ähnlichkeit von Inhalt und Interesse, während MojoNation Reputation als Währung nutzt.

wandeln und diese für die effiziente Suche nutzbar zu machen, benötigt man geeignete Metadaten-Konzepte.⁶⁰

Die Strukturierbarkeit und Auffindbarkeit von Daten sind im Web im Wesentlichen dadurch beeinträchtigt, dass die Infrastruktur für Metadaten erst vergleichsweise spät hervorgebracht wurde. Den Entwicklern und Nutzern von P2P-Anwendungen bietet sich dagegen aufgrund des frühen Entwicklungsstadiums der Technologien die Chance, das bestehende Wissen über Metadaten einzubringen und so Daten im Sinne der Verwertbarkeit und Auffindbarkeit besser aufzubereiten.⁶¹

Tim Berners-Lee, der Erfinder des World-Wide Web, propagiert in diesem Zusammenhang seit einiger Zeit seine Vision des *Semantic Web*.⁶² Dieses Konzept beschreibt eine Infrastruktur, die das bestehende Web mit verschiedenen Sprachen um eine Semantiksicht erweitern soll. Diese Schicht würde ermöglichen, dass Maschinen mittels elektronischer Agenten miteinander kommunizieren können. Diese Agenten sollen dabei befähigt werden, autonom auf der Basis von Metadaten zu operieren, durch Inferenz neues Wissen zu erschließen und logisch zu arbeiten. Die Bemühungen um eine derartige Infrastruktur verfolgen unter anderem das Ziel, die Qualität von Suchergebnissen sprunghaft zu verbessern. So könnten nach Berners-Lees Vorstellung Suchmaschinen lernen, Anfragen semantisch zu erfassen und Informationen besser zu strukturieren.⁶³

Faire Allokation von Ressourcen

Die große Popularität von P2P-Netzwerken wird teilweise durch massive Ressourcenallokationsprobleme erkaufte. So haben beispielsweise einige Universitäten die Zugänge zu Musiktauschbörsen gesperrt, da entsprechende Tauschprozesse zu viel Bandbreite aufgezehrt haben.

Ferner hat beispielsweise die Arbeit von *Adar* und *Hubermann*⁶⁴ gezeigt, dass Free-Riding (bzw. freeloading) mittlerweile ein erhebliches Problem für P2P-Netze geworden ist: Die Mehrheit der Files wird von wenigen Usern bereitgestellt. Im Falle von Gnutella wurde nachgewiesen, dass etwa 50 v.H. der getauschten Dateien von nur 1 v.H. der Peers zum Download bereitgestellt werden. Ferner stellen beinahe 70 v.H. der Gnutella-User keine Dateien zur Verfügung, sondern treten nur als Konsumenten auf.

⁶⁰ Vereinfachend zusammengefasst sind Metadaten Daten über Daten. Diese lassen sich auf der Grundlage der Extensible Markup Language (XML), dem Resource Description Framework (RDF) (vgl. [Bra01]) und Ontologien wie z.B. DAML+OIL (DARPA Agent Markup Language und Ontology Interference Layer; vgl. <http://www.daml.org>) generieren. Während XML die Syntax für maschinenlesbare Sprachkonstrukte liefert, definiert das RDF deren Semantik (vgl. [Gru02] und [DMH00]).

⁶¹ Vgl. [DB01].

⁶² Vgl. [BL99].

⁶³ Vgl. [BL01].

⁶⁴ Vgl. [AH00].

Diese Verhaltensweise unterläuft die Intention vollkommen dezentraler Systeme, da so de-facto zentrale Knoten und Flaschenhälse entstehen, die die Verfügbarkeit von Informationen und Performance entsprechender Netzwerke gefährden. Um diesen Problemen zu begegnen, besteht die Notwendigkeit, Transaktionen bestimmten Anwendern zuordnen zu können (*accountability*). Die dabei auftretenden Probleme sind aufgrund der Abwesenheit zentraler Instanzen deutlich diffiziler als bei herkömmlichen Client/Server-Transaktionen.

Dingledine, Freedman und *Molnar* diskutieren, wie darauf aufbauend Micropayments⁶⁵ und – die bereits thematisierten – Reputationssysteme⁶⁶ zu einer fairen Allokation von Ressourcen führen können.

Erste Implementierungen in Systemen wie MojoNation oder FreeHaven⁶⁷ verifizieren diese Überlegungen, erscheinen jedoch noch nicht ausreichend effektiv um kommerziellen Anforderungen an P2P-Systemen zu genügen.

Ausblick

Das Spektrum der Anwendungsbereiche von P2P ist breit und für den unternehmerischen Einsatz vielversprechend. Von der Bewältigung der technologischen, ökonomischen und juristischen Herausforderungen wird der Einsatzgrad von P2P maßgeblich abhängen. Damit dürfte P2P nicht nur eines der meistdiskutierten sondern auch eines der (noch) ungeklärtesten und spannendsten Phänomene der jüngeren Historie moderner Informationstechnologie darstellen.

Literatur

- [AH00] ADAR, EYTON UND BERNARDO A. HUBERMANN: *Free Riding on Gnutella*. First Monday (10)5, 2000.
- [Bar01] BARKAI, DAVID: *Peer-to-Peer Computing*. Technologies for Sharing and Collaboration on the Net. Intel Press, 2001.
- [Bet01] BETTAG, URBAN: *Web Services*. Informatik Spektrum, 24(5):302–304, Oktober 2001.
- [BL99] BERNERS-LEE, TIM: *Weaving the Web: The Original Design and Ultimate Destiny of the World Wide Web*. Harper, 1999.
- [BL01] BERNERS-LEE, TIM: *The Semantic Web*. Scientific American, May 2001.
- [Bra01] BRAY, TIM: *What is RDF?* <http://www.xml.com/lpt/a/2001/01/24/rdf.html>, Januar 2001.

⁶⁵ Unter Micropayments sind nicht zwangsläufig monetäre Bezahlssysteme zu verstehen.

⁶⁶ Anwender mit einer hohen Reputation kommen dabei in den Genuss eines bevorzugten Zugangs zu Ressourcen

⁶⁷ Im Falle von FreeHaven müssen Personen, die Inhalte publizieren wollen, mindestens im selben Umfang dem Netzwerk Speicherplatz zur Verfügung stellen. Diese Politik soll dazu beitragen, dass jeder Peer Ressourcen einbringt.

- [Cer02] CERAMI, ETHAN: *Web Services Essentials*. O'Reilly, Beijing u.a., 2002.
- [Das01] DASGUPTA, RANA: *Microsoft .NET as a Development Platform for Peer-to-Peer Applications*. Technischer Bericht, Intel Corporation, September 2001.
- [DB01] DORNFEST, RAELE UND DAN BRICKLEY: *Metadata*. In: Oram, Andy [Ora01a], Seiten 191–203.
- [DMH00] DECKER, S., S. MELNIK UND F. V. HARMELEN: *The Semantic Web: The Roles of XML and RDF*. *Internet Computing*, 15(5):63–74, September/October 2000.
- [Dor01] DORNFEST, RAELE: *JXTA Takes Its Position*. www.openp2p.com/pub/a/p2p/2001/04/25/jxta-position.html, April 2001.
- [EM01] EGGS, HOLGER UND GÜNTER MÜLLER: *Sicherheit und Vertrauen: Mehrwert im E-Commerce*. In: Müller, Günter und Martin Reichenbach (Herausgeber): *Sicherheitskonzepte für das Internet*, Kapitel 2, Seiten 27–43. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2001.
- [FK99] FOSTER, IAN UND CARL KESSELMAN (Herausgeber): *The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure*. Morgan Kaufmann, San Francisco, 1999.
- [FKT01] FOSTER, IAN, CARL KESSELMAN UND STEVEN TUECKE: *The Anatomy of the Grid. Enabling Scalable Virtual Organizations*. *International Journal of Supercomputer Applications*, 2001.
- [Fos02] FOSTER, IAN: *The Grid: A New Infrastructure for 21st Century Science*. *Physics Today*, Februar 2002.
- [Gru02] GRUBER, TOM: *What is an Ontology?* <http://www.ksl.stanford.edu/kst/what-is-an-ontology.html>, Februar 2002.
- [HL01] Hummel, J. und U. Lechner: *The Community Model of Content Management, A Case Study of the Music Industry*. *Journal of Media Management*, 3(1), S. 4–14
- [KA01] KOMAN, RICHARD UND STEVE ANGLIN: *Getting Up To Speed With JXTA*. <http://www.onjava.com/pub/a/onjava/2001/09/04/jxta.html>, September 2001.
- [Kom01] KOMAN, RICHARD: *XTRA JXTA: The P2P/Web Services Connection*. <http://www.onjava.com/pub/a/onjava/2001/10/24/jxta.html>, Oktober 2001.
- [Les01] LESSIG, LAWRENCE: *The Future of Ideas. The Fate of the Commons in a Connected World*. Random House, New York, 2001.
- [Let01] LETHIN, RICHARD: *Reputation*. In: Oram, Andy [Ora01a].
- [Loe00] LOESGEN, BRIAN: *XML Interoperability*. www.vbxml.com/conference/wrox/2000_vegas/Powerpoints/brianl_xml.pdf.
- [McA00] MCAFEE, A.: *The Napsterization of B2B*, Harvard Business Review, November-Dezember, 2000.
- [MH02] MOORE, DANA UND JOHN HEBELER: *Peer-to-Peer. Building Secure, Scalable, and Manageable Networks*. McGraw-Hill, Berkeley, CA, 2002.
- [Mil01] MILLER, MICHAEL: *Discovering P2P*. Sybex, San Francisco, 2001.
- [Min01] MINAR, NELSON: *Distributed Systems Topologies: Part 1*. <http://www.openp2p.com/pub/a/p2p/2001/12/14/topologiesone.html>, Oktober 2001.
- [Min02] MINAR, NELSON: *Distributed Systems Topologies: Part 2*. <http://www.openp2p.com/pub/a/p2p/2002/01/08/p2ptopologiespt2.html>, Januar 2002.
- [MKS97] MÜLLER, GÜNTER, ULRICH KOHL UND DETLEF SCHODER: *Unternehmenskommunikation: Telematiksysteme für vernetzte Unternehmen*, darin: *Telematik – von Primär- zu Sekundäreffekten*, Seiten 13–18. Addison-Wesley, 1997.

- [Obe91] OBERQUELLE, HORST (Herausgeber): *Kooperative Arbeit und Computerunterstützung. Stand und Perspektiven*. Verlag für Angewandte Psychologie, Göttingen, 1991.
- [O'R00] O'REILLY, TIM: *The Network Really Is the Computer*.
<http://www.oreillynet.com/pub/a/network/2000/06/09/javakeynote.html>, Juni 2000.
- [Ora01a] ORAM, ANDY (Herausgeber): *Peer-to-Peer: Harnessing the Benefits of a Disruptive Technology*. O'Reilly, 2001.
- [Ora01b] ORAM, ANDY: *Peer-to-Peer Makes the Internet Interesting Again*.
<http://linux.oreillynet.com/pub/a/linux/2000/09/22/p2psummit.html>, September 2001.
- [Ora01c] ORAM, ANDY: Preface, In: Oram, Andy [Ora01a].
- [Ort01] ORTIZ, SIXTO: *Instant Messaging: No Longer Just Chat*. Computer, Seiten 12–15, März 2001.
- [PSW01] PARAMESWARAN, MANOJ, ANJANA SUSARLA UND ANDREW B. WHINSTON: *P2P Networking: An Information-Sharing Alternative*. Computer, Seiten 31–38, Juli 2001.
- [Rip98] RIPPERGER, TANJA: *Ökonomik des Vertrauens*. Mohr, Tübingen, 1998.
- [Sch01] SCHNEIDER, JEFF: *Convergence of Peer and Web Services*.
www.oreillynet.com/pub/a/p2p/2001/07/20/convergence.html, Juli 2001.
- [Shi01] SHIRKY, CLAY: *Listening to Napster*. In: Oram, Andy [Ora01a].
- [STD01] SHIRKY, CLAY, KELLY TRUELOVE UND RAELE DORNFEST (Herausgeber): *2001 P2P Networking Overview*. O'Reilly, 2001.
- [STK02] SNELL, JAMES, DOUG TIDWELL UND PAVEL KULCHENKO: *Programming Web Services with SOAP*. O'Reilly, Beijing u.a., 2002.
- [UAT01] UDELL, JON, NIMISHA ASTHAGIRI UND WALTER TUVELL: *Security*. In: Oram, Andy [Ora01a].
- [Vin02] VINOSKI, STEVE: *Where is Middleware?* Internet Computing, 6(2):83–85, März/April 2002.
- [VN02] VAUGHAN-NICHOLS, STEVEN J.: *Web Services: Beyond the Hype*. Computer, Seiten 18–21, Februar 2002.
- [WCR01] WALDMAN, MARC, LORRIE FAITH CRANOR UND AVI RUBIN: *Trust*. In: Oram, Andy [Ora01a].
- [Wil01] WILEY, BRANDON: *Interoperability Through Gateways*. In: Oram, Andy [Ora01a].
- [Yau01] YAU, CEDRIC: *Creating Peer-to-Peer Middleware from Web Services Technologies*. Technischer Bericht, Intel Corporation, September 2001.