

EINLEITUNG

The notion that economists can safely ignore the way in which individuals interact and the structure that mediates that interaction has had its day.

Alan Kirman [Kiro3]

1.1 AUSGANGSSITUATION UND PROBLEM

Die Fortschritte in und die Konvergenz von Informations- und Kommunikationstechnik haben zu einem stetigen und rapiden Wandel politischer, soziologischer, kultureller und ökonomischer Prozesse beigetragen. Im Zuge dieser Entwicklung deutet für den betrieblichen Bereich vieles darauf hin, daß Kooperationen zwischen Unternehmen flexibler und kurzfristiger werden [ML98], die Arbeit dezentraler organisiert wird [Mal05, Malo4] und statische Unternehmensgrenzen zunehmend verschwinden [Dru92, UM96]. Ökonomisch unabhängige Akteure bilden dabei – teilweise spontan – komplexe, überbetriebliche und dezentral koordinierte Wertschöpfungsnetzwerke.¹ Diese Organisationsformen gehen mit neuen Herausforderungen in den Bereichen Technik, Organisation und Management einher [LLSo6] und induzieren veränderte Anforderungen insbesondere hinsichtlich der inner- und überbetrieblichen Integration sowie der Koordination und Bereitstellung von Ressourcen und Diensten.

Während herkömmliche, zentral gesteuerte Architekturkonzepte² diesen Anforderungen nicht oder nur in Teilen gerecht werden [Tiw03, DEo4, DKo2, GSo2], sehen einige Vertreter der Forschung und Entwicklung im sogenannten „Peer-to-Peer (P2P)-Paradigma“ beziehungsweise in den Architekturen von P2P-Netzwerken einen geeigneteren Lösungsansatz [WCo1, McA00, LFS06].

Mit dem Begriff P2P-Netzwerke bezeichnen wir Verbünde Gleichberechtigter (Peers), die sich wechselseitig Ressourcen unter Verzicht auf zentrale Koordinationsinstanzen zur Verfügung stellen. Der Einsatz

¹ Diese Entwicklung steht im Gegensatz zu zentral koordinierten und zentral kontrollierten, sanktionierbaren Wertschöpfungsnetzwerken innerhalb organisatorisch-rechtlich abgegrenzter Geschäftseinheiten.

² Hiermit sind insbesondere Client-Server-Architekturen gemeint.

dieser Netzwerke verspricht Vorteile, wie eine bessere Unterstützung bei der spontanen Vernetzung und flexiblen Anbindung zahlreicher ökonomischer Akteure, eine hohe Fehlertoleranz und die selbstorganisierte und dezentrale Koordination und Aggregation von Ressourcen [Baro1, MKL⁺02, SF03a]. Die bessere Auslastung vorhandener Ressourcen und der reduzierte Administrationsaufwand bieten zudem die Chance, die relativen Kosten eines Peers zu senken, was zu einer Verringerung der *cost of ownership* führt.

Folgt man der Differenzierung des Begriffs P2P-Netzwerke, wie sie Schoder und Fischbach vornehmen [SF03a], so lassen sich zwei technische und eine sozioökonomische Ebene identifizieren. Im Gegensatz zu den technischen Ebenen der P2P-Infrastrukturen und P2P-Anwendungen, auf denen die Entwicklung seit einigen Jahren intensiv vorangetrieben und untersucht wird, sind die sozioökonomischen Eigenschaften von P2P-Gemeinschaften, zu denen sich Wertschöpfungspartner mit Hilfe der korrespondierenden Infrastrukturen und Anwendungen zusammenschließen, noch weitgehend unerforscht.

Ein Beschreibungs- und Erklärungsdefizit besteht in Bezug auf Entstehung, Veränderung, Zerfall sowie Effizienz und Stabilität derartiger Gemeinschaften. Unklar ist, welchen Einfluß die Topologie eines Netzwerkes auf die Prozesse innerhalb desselben hat und welche Wechselwirkungen zwischen den Akteuren eines Netzwerkes und seiner Struktur bestehen. Zudem besteht Forschungsbedarf hinsichtlich der dynamischen Veränderung von P2P-Netzwerken, wenn bestimmte Parameter, wie Verlässlichkeit oder Verfügbarkeit von Ressourcen und Diensten, variieren.

Ob P2P-Netzwerke den Anforderungen einer Verwendung im betrieblichen Kontext genügen und inwieweit sich Unternehmen diese Netzwerke zunutze machen können, wird vor diesem Hintergrund in Wissenschaft und Praxis kontrovers diskutiert [SF03a, SF03b].

1.2 ZIELSETZUNG DER ARBEIT

Mit der vorliegenden Arbeit leisten wir einen Beitrag zu der oben skizzierten Diskussion, indem wir ein neues Modell einführen, das aus der Perspektive und mit den Methoden der Theorien komplexer Systeme die Strukturbildung in P2P-Netzwerken erklärt und eine Bewertung der Effizienz und Stabilität dieser Strukturen erlaubt.

Das Modell gibt Aufschluß darüber, wann und warum ökonomisch-rational handelnde Akteure in einem P2P-Netzwerk auf Basis ihrer individuellen Entscheidungen Verbindungen zu anderen Akteuren aufbauen oder diese lösen und welche Netzwerkstrukturen sich in der Folge ergeben.

Gesondertes Augenmerk lenken wir dabei auf die Rolle, die Vertrauen in diesen Prozessen spielt. Grund dafür ist, daß Vertrauen in dezentralen

Netzwerken zwar ein inhärentes Organisationsprinzip ist, diesem Aspekt in den verwandten, existierenden Modellen der Literatur aber unzureichend Rechnung getragen wird.

Die Arbeit ist an den folgenden Forschungsfragen ausgerichtet:

1. Welche Strukturen bilden P2P-Netzwerke im Zeitverlauf aus?
2. Wie stabil und effizient sind diese Strukturen?
3. Welchen Einfluß hat Vertrauen auf die Strukturbildung?

Wir orientieren uns mit der Arbeit an wenigstens zwei der zentralen Erkenntnisziele der Wirtschaftsinformatik: der „Schaffung verbesserten Wissens über den Zusammenhang zwischen Informationstechnologie und Organisation“ und der „Schaffung verbesserten Wissens über die Beherrschung von Komplexität in Informations- und Kommunikationssystemen“ [HKH01].

1.3 GANG DER UNTERSUCHUNG

Die Beantwortung der zuvor aufgeworfenen Fragen erfolgt in vier Schritten:

Im ersten Schritt (Kapitel 3) nehmen wir eine kartographische Erfassung des Forschungsgebietes P2P-Netzwerke vor. Hierzu führen wir ein Dreiebenenmodell ein, das zum einen die unterschiedlichen Betrachtungsperspektiven von P2P-Netzwerken (P2P-Infrastrukturen, P2P-Anwendungen, P2P-Gemeinschaften) differenziert und zum anderen eine präzisere Bestimmung des Forschungsgegenstandes dieser Arbeit erlaubt.

Im zweiten Schritt (Kapitel 4) entwickeln wir die Grundlage für die Untersuchung der Strukturbildung in P2P-Netzwerken. Dazu diskutieren wir zunächst die unterschiedlichen Ebenen der Netzwerkanalyse und verorten darin den von uns gewählten Forschungsansatz. Als Bezugssystem für unser Vorgehen dienen uns dabei die Theorien komplexer Systeme. Eine Grundidee dieser Forschungsrichtung ist, daß die Interaktion von vernetzten Akteuren, die sich nach bestimmten Regeln (oder Strategien) verhalten, emergente Strukturen hervorbringen kann [MC03, Wato3, Hol96]. Wir greifen diese Idee auf, vertiefen den Zusammenhang zwischen P2P- und komplexen Netzwerken und zeigen auf, wie Graphentheorie, Spieltheorie und Simulation im Zusammenspiel für die Modellierung dieser Netzwerke und die Analyse ihrer Strukturbildung nutzbar gemacht werden können.

Die Methoden und Werkzeuge der Graphentheorie eignen sich dabei zur Beschreibung der Struktur von Netzwerken. Zur Analyse ihrer Veränderung im Zeitverlauf benötigen wir zusätzlich Regeln, die bestimmen,

wie die Struktur eines Netzwerkes durch die Handlungen der Akteure umgestaltet wird. Diese Regeln und Handlungen modellieren wir mit Hilfe spieltheoretischer Konzepte.

Die Konzepte der Graphen- und Spieltheorie, die für unser späteres Modell und den Fortgang der Untersuchung grundlegend sind, stellen wir in den Abschnitten 4.4.1 und 4.4.2 dar.

Auf diesem Fundament wird im dritten Schritt (Kapitel 5) ein ökonomisches Modell entwickelt, dessen Grundidee darin besteht, daß die Akteure eines P2P-Netzwerkes frei entscheiden können, mit welchen Akteuren desselben Netzwerkes sie eine Verbindung beziehungsweise – in graphentheoretischer Notation – eine Kante auf- oder abbauen wollen. Der Aufbau einer Kante ermöglicht Zugriff auf die Ressourcen oder Dienste, die jeder Akteur der Gemeinschaft potentiell zur Verfügung stellt. Da der Kantenaufbau mit einem Akteur nicht nur unmittelbaren Zugriff auf dessen jeweilige Ressourcen bietet, sondern darüber hinaus mittelbar auch auf die Ressourcen der Akteure, mit denen er vernetzt ist, entstehen Netzeffekte. Für den Kantenaufbau fallen zudem Kosten an, die von dem Akteur zu tragen sind, der den Kantenaufbau initiiert.

Die Akteure finden sich in dem beschriebenen Modell in einer Struktur wieder, aus der ihnen ein bestimmter, individueller Nutzen erwächst. Sie versuchen ferner im Zeitverlauf diese Struktur gemäß ihren Bedürfnissen zu optimieren. Die Akteure verfolgen in diesem Kontext die Strategie, ihren Nutzen zu maximieren (Zugriff auf möglichst viele Ressourcen erlangen) und dabei ihre Kosten minimal zu halten (möglichst wenige direkte Kanten).

Das Ergebnis dieses Kapitels ist ein integriertes Modell, das auf P2P-Netzwerke angewendet werden kann. Es setzt sich im Kern aus Elementen der in der Literatur häufig rezipierten ökonomisch-spieltheoretischen Modelle von Myerson [Mye91], Bala und Goyal [BG00a] sowie Jackson und Wolinsky [JW96] zusammen.

Ausgangspunkt der Modellentwicklung ist das von Myerson [Mye91] eingeführte und häufig als *standard model of network formation* [Jaco5] bezeichnete Modell. Myerson geht davon aus, daß die Mitglieder einer Gemeinschaft frei entscheiden können, mit welchen anderen Mitgliedern sie eine Verbindung eingehen möchten. Ferner postuliert er, daß die dabei entstehende Struktur des Netzwerkes Einfluß auf den Nutzen der einzelnen Akteure hat.³ Myersons Modell [Mye91] beruht zudem auf den Prämissen, daß der Aufbau einer Verbindung nur im wechselseitigen Einvernehmen der Akteure erfolgen kann, daß der Aufbau mit Kosten verbunden ist und daß die Nutzenfunktion so allgemein wie möglich formuliert werden sollte. Myerson trifft verschiedene realistische

³ Die grundlegende Idee, wie sich die Struktur des Netzwerkes einer Gemeinschaft auf den Nutzen ihrer Akteure auswirkt, haben Myerson und später Myerson und Aumann bereits in [Mye77] und [AM88] entwickelt.

Annahmen, an denen sich das in dieser Arbeit entwickelte Modell orientiert. Problematisch ist aber, daß Myersons Modell zum einen zu viele Gleichgewichtsstrukturen [Jac05] und zum anderen keinen Abbau von Verbindungen zuläßt.

Die Ideen und Grundannahmen lassen sich jedoch auf das von Bala und Goyal entwickelte Modell [BG00a] übertragen, mit dem sich die Eigenschaften von P2P-Netzwerken in einer ersten Näherung gut erfassen lassen. Eine Einschränkung dieses Modells ist, daß die Akteure Verbindungen nur unilateral aufbauen können, das heißt, es reicht, wenn einer der Akteure den Aufbau einer Kante mit einem anderen Akteur wünscht, damit die entsprechende Verbindung zustande kommt. Diese Annahme erweist sich jedoch in P2P-Netzwerken als Spezialfall. In einem P2P-Netzwerk, in dem Akteure Transaktionen tätigen, ist in der Regel davon auszugehen, daß sowohl der Anbieter eines Service oder einer Ressource als auch der Nachfrager dem Aufbau einer Kante und damit der entsprechenden Transaktion zustimmen müssen.⁴

Dieser Restriktion begegnen wir – in Anlehnung an die Arbeiten von Jackson und Wolinsky [JW96] – mit einer Erweiterung des Modells, die wechselseitige Zustimmung berücksichtigt. Das daraus resultierende Modell erlaubt es, sowohl Aussagen über die Strukturbildung als auch über die Stabilität und Effizienz der entsprechenden Strukturen zu treffen. Stabilität bedeutet dabei, daß sich eine „Ruhelage“ einstellt, in der kein Akteur im Netzwerk ein Interesse daran hat, seine derzeitige Strategie zu ändern.⁵ Das heißt für unser Szenario, daß eine Netzwerkstruktur dann stabil ist, wenn kein Akteur – für einen definierten Zeitraum – ein Interesse daran hat, eine neue Verbindung auf- oder eine bestehende abzubauen.

Die Effizienz einer gegebenen Struktur messen wir in Form eines aggregierten Gesamtnutzens, den wir als „Wohlfahrt“ einer P2P-Gemeinschaft bezeichnen und der sich als Summe der individuellen Nutzen (*payoffs*) berechnet, die jedem Akteur in der jeweiligen Situation zukommen.⁶

Im vierten Schritt nehmen wir schließlich eine wesentliche Erweiterung der bisherigen Modellwelt vor: In allen vorgenannten Modellen treffen die Akteure ihre Entscheidungen über den Kantenauf- und -abbau ausschließlich anhand einfacher Kosten-Nutzen-Abschätzungen. In der Realität erweist sich jedoch darüber hinaus Vertrauen als impliziter und relevanter Koordinationsmechanismus menschlichen Handelns. Dies gilt

4 In einem Wissensnetzwerk bedeutet dies beispielsweise, daß der Träger einer Information gewillt ist, sie mit einem Akteur, der diese Information sucht, zu teilen.

5 Im spieltheoretischen Vokabular spricht man von einem „Gleichgewicht“ statt von einer Ruhelage.

6 Wir verstehen Effizienz dabei als Verhältnis zwischen Mitteleinsatz (Kosten für den Aufbau beziehungsweise die Aufrechterhaltung einer Kante) und Zielerreichung (Zugriff auf möglichst viele Ressourcen). Effizienz ist damit eine relative Größe – im Gegensatz zur Verwendung des Begriffs in der Mikroökonomie, die Effizienz zumeist als Minimalkostenkombination – und somit als absolute Größe – versteht.

insbesondere in Situationen, in denen keine zentralen, mit Sanktionsmacht ausgestatteten Institutionen existieren – wie es für P2P-Netzwerke charakteristisch ist. Wir begegnen diesem Defizit existierender Modelle mit der Einführung einer Vertrauenskomponente.⁷

Zu diesem Zweck diskutieren wir in Kapitel 6 zunächst die zentralen Aspekte von Vertrauen. Um diese für eine weitere Analyse operationalisieren zu können, richten wir gesondertes Augenmerk darauf, wie sich Vertrauen formalisieren läßt. Die dabei gewonnenen Ergebnisse versetzen uns in die Lage, das zuvor erarbeitete Modell dergestalt zu erweitern, daß wir die Akteure mit einem Transaktions- beziehungsweise Reputationsgedächtnis ausstatten, in dem sie Informationen über frühere Interaktionen mit anderen Akteuren sammeln. Zudem betrachten wir nicht mehr alle Akteure eines P2P-Netzwerkes als *per se* vertrauenswürdig. Stattdessen „stören“ wir die Strukturbildung, indem wir davon ausgehen, daß eine Teilmenge der Akteure in bestimmten Zeiträumen nicht die von ihnen erwartete Leistung erbringt. Diese Informationen fließen fortan in die Entscheidungen und das strategische Kalkül der Akteure ein.

Eine Folge dieser Modellerweiterung ist ein erheblicher Anstieg der Modellkomplexität. Aus diesem Grund überführen wir im weiteren den formal-analytischen in einen simulationsbasierten Ansatz. Die Beschreibung und Auswertung der Simulationen erfolgt in Kapitel 7. Die Resultate zeigen, wie sich Vertrauen in unserem Modellansatz auf die Strukturbildung in P2P-Netzwerken auswirkt: Akteure lernen auch in P2P-Netzwerken, in denen Störungen in Form nicht oder eingeschränkt vertrauenswürdiger Akteure auftreten, ihre Handlungen zu koordinieren und die Wohlfahrt der Gemeinschaft im Zeitverlauf zu steigern. Der Prozeß dauert jedoch länger als in ungestörten Netzwerken, und die Wohlfahrt erreicht im Durchschnitt ein niedrigeres Niveau. Ferner beobachten wir, daß größere P2P-Gemeinschaften besser mit dem Auftreten von Störungen umgehen können als kleinere. Schließlich stellen wir fest, daß in gestörten und ungestörten P2P-Netzwerken jeweils unterschiedliche Strukturen stabil sind.

An die Präsentation der Simulationsergebnisse schließt sich eine Diskussion des Modells und ein Ausblick auf Anknüpfungspunkte (Kapitel 7.4) für zukünftige Arbeiten an, bevor wir in Kapitel 8 die Ergebnisse der Arbeit in einem Fazit zusammenfassen.

⁷ Gerade in der Abwesenheit zentraler Regulierung und der sehr eingeschränkten Verwendbarkeit von Verträgen kommt Vertrauen besondere Bedeutung zu [Mac93, SR93].



Quelle:

Kai Fischbach: *Strukturbildung in Peer-to-Peer-Netzwerken*, Kölner Wissenschaftsverlag, Köln, 2008.

© 2008 Kölner Wissenschaftsverlag und Kai Fischbach