

## Kooperation und Anarchie im Internet

**Im Internet besteht ein Spannungsfeld zwischen kooperativem Verhalten und Anarchie. Meine Dissertation untersucht die Folgen und schlägt Anreizmechanismen vor, welche die Zusammenarbeit fördern und damit grosse Computernetze sicherer und schneller machen.**

Unser Planet wird von einem riesigen Computernetz umspannt: dem Internet. Noch während Sie diesen Satz lesen, werden wieder unzählige Milliarden von Nullen und Einsen über dieses Netz verschickt worden sein. Mehr als die Hälfte des Internetdatenverkehrs stammt dabei von sogenannten *Peer-to-Peer* Anwendungen. Diese relativ junge Technologie beruht auf dem Prinzip der Kooperation: Alle Computer in einem *Peer-to-Peer* Netz sollen Ressourcen beitragen. Weil jeder Computer in diesem Netz die gleichen Rechte und Pflichten hat, wird er auch mit „Peer“ bezeichnet – dem englischen Begriff für „Gleichgestellter“.

Eine beliebte *Peer-to-Peer* Anwendung ist das Lösen großer mathematischer Probleme, zum Beispiel die Berechnung der dreidimensionalen Struktur von Molekülen. Die Berechnungen werden an Tausende *Peers* verteilt, die ihre Rechenleistungen anbieten. Die Lösungen können dadurch oft schneller gefunden werden als auf dem teuersten Supercomputer. Bei der Live-Übertragung der Olympischen Spiele 2008 über das Internet halfen die Computer der Zuschauer, die Daten an die Computer der anderen Zuschauer weiterzuleiten. Sie stellten dazu einen Teil ihrer Bandbreite zur Verfügung. Die bekanntesten Vertreter dieser Technologie sind Programme wie BitTorrent, welches das – oft illegale – Austauschen von Dateien ermöglicht oder das Internettelephonie-Programm Skype. Diese *Peer-to-Peer* Systeme zählen zu jeder Tageszeit mehrere Millionen Benutzer auf der ganzen Welt.

Attraktiv sind *Peer-to-Peer* Netze aufgrund ihrer Skalierbarkeit: Je mehr Computer sich in einem Netz befinden, desto mehr Ressourcen sind vorhanden – der „Kuchen“ wächst. Zumindest in der Theorie! Viele Benutzer versuchen, von den Dienstleistungen zu profitieren ohne einen eigenen Beitrag zu leisten. Es existieren vielerlei Betrugsmöglichkeiten. So können die Anfragen zur Berechnung gewisser Teilprobleme ignoriert oder Sportveranstaltungen einfach nicht weitergeleitet werden. Um das Phänomen dieses unkooperativen Verhaltens und dessen Folgen besser zu verstehen, habe ich mich der sogenannten *Spieltheorie* bedient. Diese Theorie und insbesondere John Nash, einer ihrer Mitbegründer, ist seit dem Film „A Beautiful Mind“ einem breiteren

Publikum ein Begriff. Die Spieltheorie geht von einer völlig egoistischen, anarchistischen Gesellschaft aus. Sie nimmt an, dass jedes Individuum der Gesellschaft versucht seinen persönlichen Nutzen zu maximieren, beispielsweise seinen Bankkontostand, seine Freizeit oder die Geschwindigkeit seines Internetanschlusses. John Nash hat gezeigt, dass die Wohlfahrt einer Gesellschaft – wie glücklich die Gesellschaft insgesamt ist – unter solch eigennützigem Verhalten leidet. Um diesen Wohlfahrtsverlust zu messen, wurde der Begriff „Preis der Anarchie“ eingeführt. Der Preis der Anarchie vergleicht die Wohlfahrt einer egoistischen Gesellschaft mit der Wohlfahrt einer idealen Gesellschaft. In der idealen Gesellschaft arbeiten alle Individuen perfekt zusammen als würden sie von einem gutmütigen Puppenspieler bewegt oder von einem der Philosophenkönige aus Platos utopischem Kallipolis regiert. Dadurch wird die größtmögliche Wohlfahrt erlangt. Je größer der Preis der Anarchie, desto weiter ist die egoistische von der idealen Gesellschaft entfernt.

Wie hoch ist der Preis der Anarchie in *Peer-to-Peer* Netzen? Ein interessantes Studienobjekt sind Computerviren – eine der größten Gefahren im heutigen Internet. Oft werden Computer unbemerkt infiziert, und leiten den Virus dann unbewusst an benachbarte Computer weiter. Der Teilnehmer kann sich durch gewisse Investitionen – zum Beispiel durch Kauf eines Antivirusprogramms – schützen. Von dieser Investition profitiert allerdings nicht nur der „geimpfte“ Computer selbst, auch die anderen Teilnehmer im Netz, die er nun nicht mehr anstecken kann, werden sicherer – und zwar gratis. Dies führt zu einem sozialen Dilemma. Unsere spieltheoretischen Analysen bestätigen die Befürchtung, dass sich in einem rein eigennützigem Umfeld zu wenige Nutzer absichern. Mit anderen Worten, das *Peer-to-Peer* Virusausbreitungsspiel ist durch einen hohen Preis der Anarchie gekennzeichnet.

Die Annahmen der klassischen Spieltheorie sind eine Vereinfachung der Realität. *Peer-to-Peer* Netze stellen heute nach wie vor eine der größten Kooperationen überhaupt dar; dies widerspricht der These des rein egoistischen Verhaltens. Viele *Peers* sind „sozial“, sie tragen Ressourcen bei und nehmen auf die anderen *Peers* Rücksicht. Umgekehrt gibt es in *Peer-to-Peer* Netzen auch böswilliges Verhalten. In einer Fallstudie haben meine Kollegen und ich nachgewiesen, dass einige *Peers* versuchen, Informationen zu zensieren oder Berechnungen zu stören. Um soziales und böswilliges Verhalten zu untersuchen haben wir die Spieltheorie um ein mathematisches Konstrukt erweitert. Dabei haben wir eine überraschende Beobachtung gemacht: Die Annahme, dass böswillige *Peers* zu einem Wohlfahrtsverlust führen, trifft nicht immer zu. Wenn die Benutzer von der Anwesenheit von Angreifern wissen und sich vor möglichen Attacken fürchten, kann sich die Wohlfahrt *steigern*: sie sind in dieser Situation sehr vorsichtig und schützen sich beispielsweise besser vor Viren. Des Weiteren haben unsere Analysen gezeigt, dass Angriffe in Netzen

mit sozialen *Peers* immer weniger Schaden anrichten als in einem rein egoistischen Umfeld. Es ist eine spannende offene Frage, wie sich diese Phänomene in der Praxis ausnützen lassen.

Obwohl die negativen Folgen von unkooperativem Verhalten bekannt sind, wenden heute *Peer-to-Peer* Netze kaum wirksame Gegenmaßnahmen an. Solche zu finden ist nicht leicht: Viele gute Lösungen aus den Wirtschaftswissenschaften erfordern, dass gewisse Dienstleistungen mit *Geld* bezahlt werden können und kommen deshalb in *Peer-to-Peer* Netzen nicht in Frage. Eines der wenigen *Peer-to-Peer* Netze mit ernsthaften Anreizen für Zusammenarbeit ist BitTorrent. Wie bereits erwähnt, ermöglicht BitTorrent den Austausch von Dateien zwischen Benutzern. Alle *Peers*, die an einem gewissen Film interessiert sind, werden in einem sogenannten *Peer-Schwarm* vernetzt. Die Datei respektive der Film wird nun in kleine Stücke zerteilt. Ein Stück entspricht beispielsweise einer Sekunde des Films. BitTorrent verfolgt nun einen „Wie Du mir so ich Dir“-Ansatz: Sobald ein *Peer* ein Stück bekommen hat, kann er dieses an einen Nachbarn weiterleiten. Der Nachbar schickt ihm dafür ein anderes Stück des Films zu. Falls der Nachbar versucht egoistisch zu sein und nichts zurückschickt, wird ihm in Zukunft nichts mehr angeboten.

Der BitTorrent Mechanismus hat zwei Probleme. Erstens haben Nachbarn oft ähnliche Stücke wie der Peer selbst, was einen Handel teilweise unmöglich macht. Zweitens können neu zum Schwarm hinzugestoßene *Peers* noch keine Stücke anbieten. Während das erste Problem „nur“ zu Verzögerungen führen kann, ist das zweite Problem ein Grundsätzliches. BitTorrent sieht deshalb vor, dass Neuankömmlinge von ihren Nachbarn ab und zu ein paar Stücke als Startkapital ohne Gegenleistung bekommen. Leider eröffnet dies aber vielfältige Betrugsmöglichkeiten. So konnten wir mit unserem eigenen, egoistischen Programm „BitThief“ nachweisen, dass man BitTorrent ganz ohne eigene Beiträge ausnutzen kann.

Wir haben eine Methode entwickelt, welche die von BitThief aufgedeckten Schwachstellen beseitigt. Durch geschickte algebraische Kombination mehrerer Filmstücke wird die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass zwei *Peers* an den gegenseitigen Angeboten interessiert sind und zusammenarbeiten können. Außerdem erlaubt es die Methode, dass sich die Nachbarn koordinieren, wodurch das Startkapital eines *Peers* besser kontrolliert werden kann. Unsere Experimente haben gezeigt, dass dadurch das System nicht nur fairer wird: Selbst im Falle von kooperativen *Peers* ist unser System effizienter als die heute bekannten Lösungen.

Wie sich unsere Methode auf andere Anwendungen (mit anderen Ressourcen) verallgemeinern lässt, ist Gegenstand aktueller Forschung. Mit den aus den Fallstudien gewonnen Erkenntnissen versuche ich, unsere spieltheoretischen Modelle weiter zu verfeinern und die Mechanismen zu verbessern. Neue Entdeckungen zur Förderung von Kooperation können dabei nicht nur Wind in den Segeln der Internetsurfer bedeuten, sondern finden auch in anderen Bereichen Anwendung! So bestehen spannende Zusammenhänge zu Fragestellungen anderer geldloser Märkte. Ein berühmtes Beispiel sind Organspendemärkte. Viele Nierenpatienten haben einen Verwandten, der ihnen eine Niere spenden würde, allerdings passt diese häufig nicht zum Körper des Empfängers. Solche Organe sind auch nicht käuflich. Um die Chancen zu erhöhen einen geeigneten Spender zu finden, studieren Wissenschaftler in Harvard ähnliche indirekte Tauschlösungen, wie sie auch in *Peer-to-Peer* Netzen existieren.