

Harald Katzmail .....

..... **Social Network Analysis**

**Die Wissenschaft von der Messung, Visualisierung  
 und Simulation sozialer Beziehungen** .....

„You can't find a new land with an old map!“  
 Englisches Sprichwort

Alle Welt spricht von Netzwerken. PhysikerInnen gehen den Netzwerkstrukturen des World Wide Web auf den Grund;<sup>1</sup> BiologInnen erforschen die weitverzweigten Landkarte der Gen-Netzwerke;<sup>2</sup> das amerikanische Militär organisiert seine Streitkräfte nach dem Modell von *Robust Self-forming Tactical Networks*;<sup>3</sup> MarketingexpertInnen forschen nach den Mustern, wie sich Meinungen, Moden und neue Produkte in KonsumentInnennetzwerken verbreiten;<sup>4</sup> EpidemiologInnen erforschen Ansteckungs- und Übertragungsnetzwerke gefährlicher Viren; ÖkologInnen untersuchen die Stabilität von Nahrungsketten in Ökosystemen; LobbyistInnen identifizieren Schlüsselspieler in sozialen Beziehungsnetzwerken; GenealogInnen und AnthropologInnen analysieren die Netzwerkstrukturen von Verwandtschafts- und Heiratsbeziehungen. ForscherInnen im Bereich Innovations-, Technologie- und Wissenschaftspolitik suchen nach Gesetzmäßigkeiten und Grundmustern in innovations- und adaptionsfähigen Netzwerken.<sup>5</sup> Die Liste der Beispiele, in denen „Netzwerke“ Gegenstand von wissenschaftlichen, künstlerischen, kommerziellen und militärischen Problemstellungen sind, lässt sich beliebig fortsetzen.

Die zurzeit umfassendsten und differenziertesten Modelle zur Analyse von Netzwerken liefert eine wissenschaftliche Disziplin, die unter dem Begriff *Social Network Analysis* (kurz: SNA) die Methoden und softwaretechnische Applikationen der strukturalen Analyse in den letzten Jahren rasant weiterentwickelt hat.<sup>6</sup> Auch wenn nicht alle VertreterInnen der SNA dem zustimmen würden, so ist die SNA weniger eine einheitliche, abgeschlossene Wissenschaft als vielmehr eine umfassende, integrative, transdisziplinäre Disziplin, welche es VertreterInnen der unterschiedlichsten Forschungsbereiche wie Soziologie, Ökonomie, Informatik, Psychologie, Betriebswirtschaft, Biologie, Mathematik, Urbanistik ebenso wie Consultern, KünstlerInnen oder KunsttheoretikerInnen ermöglicht, Probleme in ihren jeweiligen Feldern in einer gemeinsamen Sprache, der Sprache der Mathematik und der Algorithmik, zu formulieren und zu bearbeiten. Hierin liegt ein Grund für die Innovativität der SNA: Diversität der Disziplinen bei gleichzeitiger Adoptabilität und Stringenz der Modellbildung – basierend auf der Sprache der Mathematik und Informatik.

Die Wurzeln der modernen Netzwerkanalyse reichen zurück bis in die strukturalistische („relationale“) Revolution in den Naturwissenschaften und insbesondere der Mathematik im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts, die von Ernst Cassirer umfassend dargestellt wurde.<sup>7</sup> Die sich damals entwickelnde moderne Zahlentheorie, Relationenlogik, Bool'sche Algebra und Gruppentheorie waren der Ausgangspunkt für die Formulierung der Graphentheorie, die heute den zentrale Bezugspunkt der Social Network Analysis bildet. Die Graphentheorie ist ein Teilgebiet der diskreten Mathematik, d. h. der Mathematik endlicher Strukturen, der auch die Codierungstheorie, Kryptografie und kombinatorische Optimierung zuzurechnen ist.

Die Graphentheorie ist universell einsetzbar, um soziale Beziehungen zu modellieren. Daten über soziale Beziehungen werden in Graphen transformiert und auf unterschiedlichen analytischen Ebenen (Akteurs-Ebene, dyadische oder triadische Ebene, Cluster-Ebene, Ebene des gesamten Netzwerks) ausgewertet. Typische soziale Beziehungen für netzwerkanalytische Betrachtungen sind:

#### Kommunikationsbeziehungen:

- Wer beeinflusst wen bei Kaufentscheidungen und Meinungsbildungsprozessen?
- Wer redet im Unternehmen mit wem über Verbesserungsmöglichkeiten?
- Wer holt sich bei wem Tipps und Ratschläge?

#### Kooperationsbeziehungen:

- Welche Abteilungen arbeiten miteinander zusammen, welche blockieren einander?
- Wer arbeitet mit wem gemeinsam an einem Projekt?
- Wer ist mit wem gemeinsam in einem Konsortium?

#### Formelle Beziehungen:

- Wer ist wem berichtspflichtig?
- Wer sitzt im Aufsichtsrat von welchen Unternehmen?
- Wer ist Shareholder von welchem Unternehmen?

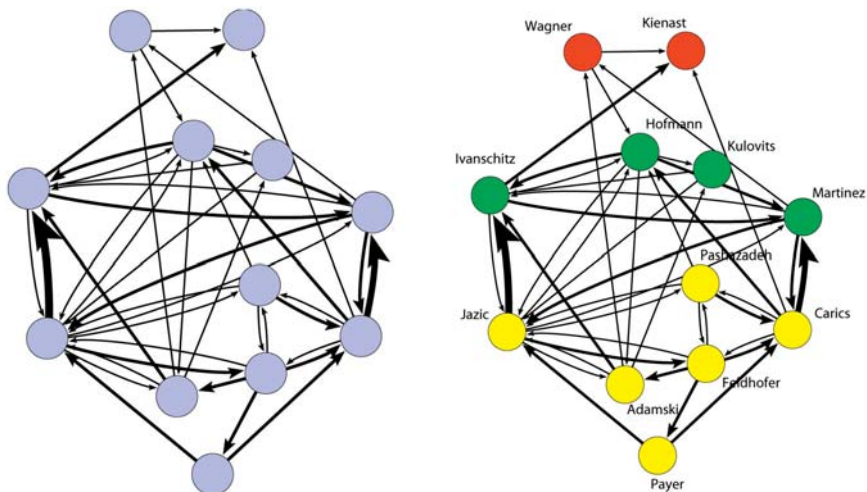
#### Wirtschaftliche Beziehungen:

- Wer ist Handelspartner / Kunde von wem?
- Wer sponsert welche Veranstaltung?
- Wer ist Lieferant von wem?

#### Teilnahme an Ereignissen und Mitgliedschaften:

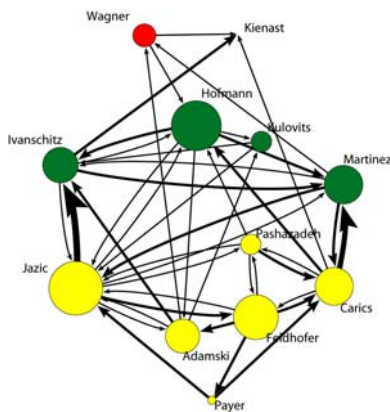
- Wer steht auf der Gästeliste einer bestimmten Veranstaltung?
- Wer ist Mitglied von welchem Verein, welcher Partei, Organisation?
- Wer hat an welchem Event teilgenommen?

Sehen wir uns ein Beispiel aus der Welt des Fußballs an: Das Rapid-Wien-Netzwerk besteht aus zwölf Personen (11 Feldspieler + 1 Einwechslung) und wir betrachten, wer im Verlauf eines Spiels zu wem gepasst hat. Der daraus entstehende Graph besteht aus einer Menge von Spielern („Knoten“) und einer Menge von Passes („Pfeile“). Auf der linken Seite ist der Graph eines Passspiel von SK Rapid Wien in den letzten 15 Minuten des Spiels von Rapid Wien gegen Sturm Graz am 7. 12. 2003 dargestellt. Sobald wir weitere Informationen hinzufügen, z. B. die Namen der Spieler sowie deren Spielposition (Rot = Angriff, Grün = Mittelfeld, Gelb = Verteidigung), haben wir ein Netzwerk erzeugt. Netzwerke sind Graphen mit zusätzlichen Informationen über Knoten und/oder Pfeilen.



Passspiel von SK Rapid Wien in den letzten 15 Minuten des Spiels von Rapid Wien gegen Sturm Graz am 07. 12. 2003 (Daten von Harald Katzmaier und Helmuth Neundlinger) Links: Graph, rechts: Netzwerk

Nachdem die empirisch ermittelten Daten in einen Beziehungsgraphen transformiert worden sind, lassen sich verschiedene Fragen beantworten: Von welchem Spieler gingen die meisten Aktionen aus (Jazic)? Wer wurde am häufigsten angespielt (Jazic)? Wer hat das Rapid-Spiel kontrolliert (Jazic, Hoffman)? Durch welchen Spieler hindurch verliefen die meisten Ballstaffetten (Jazic, Hofmann, Feldhofer, Martinez, Carics)? Wer spielt mit wem zusammen, wer nicht (kein einziger Pass von Ivanschitz auf Wagner!)? Welche Spielerkombinationen bilden das Rückgrat des Spiels (z. B. die Triade Feldhofer-Carics-Pashazadeh)? Welche Spieler haben eine ähnliche „Rolle“ (Ivanschitz / Martinez)? Wo liegen die Schwachstellen des Rapidspiels (Kulovits)? Welchen Spieler muss ich „ausschalten“, um den Spielfluss Rapids maximal zu unterbrechen (Jazic, Hofmann, Feldhofer)?



Die Zentralität der Rapid Spieler basierend auf Betweenness-Centrality

Für Fragestellungen wie diese hat die Social Network Analysis ein umfassendes Set an Mess-, Visualisierungs- und Simulationstechniken entwickelt.<sup>8</sup> Es existieren Softwarelösungen im kommerziellen Bereich (UCINET, NETMINER, yFILES) und auch hervorragende Freewareprodukte (PAJEK, VISIONE, MULTINET, KEY-PLAYER, WILMASCOPE, TULIP, MAGE etc.).<sup>9</sup> Diese Softwareentwicklungen sind maßgeblich für die systematische Weiterentwicklung der strukturalen Methode verantwortlich. Bei aller dynamischen Entwicklung und inhaltlichen Diversität der SNA werden durch die Attraktorwirkungen von frei verfügbare Softwarepaketen wie PAJEK oder VISIONE ein gemeinsames Vokabular und gemeinsame methodologische Standards aufrechterhalten. In dieser Zusammenarbeit von SozialwissenschaftlerInnen, MathematikerInnen und InformatikerInnen liegt die Ursache für die Dynamik der SNA. Sie ist eine Wissenschaft mit einer starken inte-

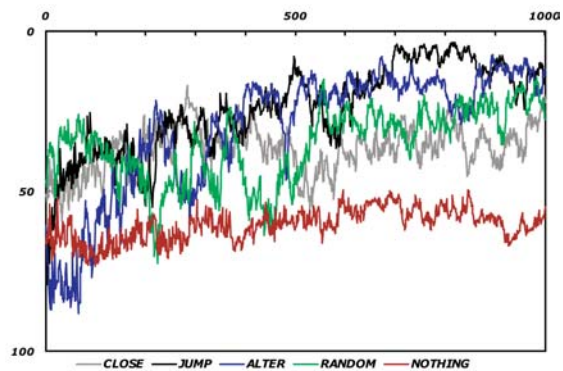
grativen Kraft, am ehesten noch vergleichbar mit der modernen Biologie und Ökologie oder Teildisziplinen der Nanotechnologie. Die Social Network Analysis schlägt eine Brücke zwischen den Sozial-, Natur- und Technikwissenschaften und generiert aus dieser Zusammenarbeit immer wieder neue Modelle. Radikale Innovationen (*Breakthroughs*) entstehen, wenn hohe Diversität der Elemente kombiniert ist mit dem Vermögen diese unterschiedlichen Wissensformen und Wissenschaftskulturen ineinander zu übersetzen und in einheitliche Symbol-Systeme zu integrieren. SNA ist selbst eine radikale Innovation und ihr einheitliches Symbol-System wird z. B. durch Software gewährleistet. Die Mathematisierung der Modelle ist hierfür der Garant, weil nur die Mathematik als reine Symbolsprache jene *Lingua Universalis* bereitstellt, die Anschlüsse und Übersetzungen in alle Richtungen ermöglicht.

Die Mathematik der Strukturen und Ordnungen (Graphentheorie) ist nicht nur die Grundlage für eine funktionierende Transdisziplinarität und sprachlichen Kohärenz innerhalb der SNA-Community, sie ermöglicht auch die Applikation von fortgeschrittenen Visualisierungsalgorithmen (*Graph Drawing Algorithm*) innerhalb der Sozialwissenschaften, die für ganz andere Zwecke entwickelt wurden (z. B. *Computer Aided Geometric Design*, *Computational Geometry*). Auch hier wird wiederum die Grenze zwischen den Wissenschaften gesprengt. Die Softwareentwicklungen der Graph Drawing Community<sup>10</sup> sowie Anwendung von Visualisierungsweisen nach den Gesetzen der Colormetrie und Farbpsychologie<sup>11</sup> ermöglichen die Applikation ausgefeilter graphischer Algorithmen unabhängig von Profession und Herkunft der AnwenderInnen. BiologInnen und ChemikerInnen arbeiten mit derselben Software und grafischen „Sprache“ wie ForscherInnen der Sozialwissenschaften, was völlig neue Möglichkeiten des Austausches

von Informationen und der Zusammenarbeit eröffnet, jenseits von historisch bedingten Vorurteilen und Skeptizismen (etwa den Vorbehalten der Sozialwissenschaften gegenüber der Biologie und Evolutionstheorie).

Die gemeinsamen Berührungsflächen der modernen Biologie und Physik mit der SNA beschränken sich allerdings nicht nur auf die Anwendung gemeinsamer Softwareapplikationen. In den letzten Jahren nahm die Forschung über dynamische Aspekte in Netzwerken sprunghaft zu. Ein gemeinsames Interesse an der Simulation von komplexen, nichtlinearen Prozessen in Netzwerken führte dazu, dass Modelle aus dem Bereich der Komplexitätsforschung (Santa Fe Institut) und Chaostheorie in die Modelle der SNA eingeflossen sind (und umgekehrt). Heute werden dynamische Prozesse in Netzwerken mit Hilfe sogenannter Agent-Based-Simulation-Software (z. B. SWARM, STARLOGO, NETLOGO, BLANCHE) modelliert. Verschiedenen Strategien für den Aufbau von effizienten und robusten Netzwerken, können so vorab *in silicio* getestet werden. In wirtschaftlichen Anwendungsbereichen heißt dies, dass strategische Problemstellungen des Lobbying und Vertriebs sowie die Auswahl der geeigneten Partner für Kooperationen (welcher neue Kontakt würde den eigenen Einfluss auf das Netzwerk maximal erhöhen?) vorab durchgespielt werden können. Hier erweist sich die SNA als mathematisches Instrument der Macht.

Neben praktischen Anwendungsmöglichkeiten in Consultingprozessen ist das allgemeine wissenschaftliche Ziel solcher Simulationen vor allem, verbesserte Einsichten in das Verhalten komplexer Systeme zu erhalten. Aktuelle Forschungen gehen davon aus, dass die einzelnen Elemente des Systems einfachen und für alle Elemente gleichermaßen gültigen Regeln folgen und untersuchen das daraus resultierende (meist nicht-lineare) Systemverhalten.<sup>12</sup> Komplexes Systemverhalten, wie Börsencrashes und Massenpaniken bis hin zum Verhalten eines Vogelschwarms, kann heute ausgehend von der Akteurs-Ebene sehr gut simuliert werden. Besonders für Diffusionsprozesse wie die Ausbreitung von Moden, Meinungen oder neuen technischen Produkten sind nicht-lineare (meist sprunghafte) Verläufe bekannt. Nach Überschreiten bestimmter kritischer Werte kommt es zu Kippeffekten in den Netzwerken. Sind es zu Beginn nur vereinzelte Personen, die z. B. eine andere politische Partei wählen, so wählen nach Überschreiten einer bestimmten Anzahl von Parteiwechslern schlagartig auch alle restlichen Personen eines Kernnetzwerkes diese andere Partei. Ähnliches passiert bei stark netzwerkabhängigen Prozessen, z. B. bei der Wahl eines Mobilfunk-Providers oder dem öffentlichen Ansehen einer Person. Meinungen werden ab dem Überschreiten eines bestimmten Schwellenwertes lawinenartig kollektiv gewechselt/gebildet und nicht mehr individuell. ForscherInnen der SNA sind den Gesetzen solcher Diskontinuitäten im Systemverhalten mit wachsendem Erfolg auf der Spur.<sup>13</sup> Generell wird die Stabilität von Netzwerken und ihre Verletzlichkeit (*vulnerability*) ein wichtiges Thema der kommenden Jahre sein. Terroranschläge, Ausfälle von Stromnetzwerken, Systemzusammenbrüche von Internetnetzwerken durch Virenattacken rücken die Frage, wie Netzwerke auf exogene Schockwirkungen reagieren, ins Zentrum eingehender Betrachtungen, sowohl seitens der *Computational Organizational Sciences*<sup>14</sup> als auch der Physik (*percolation models*) und evolutionstheretischen- und morphogenetischen Biologie (*robust morphogenesis*).<sup>15</sup>



Who will survive? Ergebnisse eines Simulationsdurchlaufs von 5 unterschiedlichen Networking-Strategien mit der Software NETSTRAT™ von FAS.research

Jene Forschungsbranche der SNA, die sich mit der sozialen Struktur von Innovation (im Sinne von Neuerungen im weitesten Sinne) beschäftigen, liefern die wahrscheinlich stärksten Impulse für gesellschafts-, kultur- und wirtschaftspolitische Fragestellungen. Unter welchen Strukturbedingungen kann Neues – gleich ob in Kunst, Kultur, Politik oder Wirtschaft – entstehen? Innovation ist das Ergebnis der Transformation und Rekombination bereits existierender Elemente (Technologien, Wissen, Artefakte, kulturelle Codes und Sprachen, Verhaltensweisen). Akteure (Personen, Institutionen), die bislang unverbundene Elemente (*technology brokerage*)<sup>16</sup> miteinander verbinden und damit eine Brücke bauen, sind die strukturellen Träger der Erneuerung.

Da solche Akteure häufig an der Peripherie von etablierten Netzwerken angesiedelt sind, muss die Rolle peripherer Akteure in Wissens- und Innovationsnetzwerken vollständig neu bewertet werden. Die SNA liefert mit ihren Modellen einen wesentlichen Beitrag für eine allgemeine Theorie und Praxis der gesellschaftlichen Kreativität und Innovativität. Denn die Strukturbedingungen und Gesetzmäßigkeiten, unter denen neue Technologien (z. B. die nanotechnologische Revolution) emergieren, sind dieselben, die neue Ideen und neue kulinarische, künstlerische, kulturelle oder wissenschaftliche Techniken hervorbringen. Die SNA kann hier sehr detaillierte Anleitungen bieten, wie kreative Prozesse gefördert werden können und wie Innovationsnetzwerke designed sein müssen, um eine Kultur der Innovativität, sei es im gesellschaftlichen, wirtschaftlichen oder künstlerischen Kontext, zu stimulieren und zu gewährleisten. Die Social Network Analysis ist in diesem Sinne nicht nur eine wissenschaftliche Disziplin, denn das Denken in Netzwerken eröffnet vollkommen neue Blicke auf gesellschaftliche Prozesse. Es bleibt abzuwarten, wie sehr eine Gesellschaftsanalyse auf Basis der SNA neue Ideen und Lösungsvorschläge für kultur-, gesellschafts- und wirtschaftspolitische Fragestellungen liefern wird. Für eine neue Politik könnte die SNA die kartografischen Grundlagen liefern: für eine Politik, die sich am Konzept der gesamtgesellschaftlichen Innovativität und Kreativität orientiert und für sich die regulative Idee der Ausweitung des „adjazent Möglichen“<sup>17</sup> beansprucht innerhalb einer modernen – von autokatalytischer Diversität gekennzeichneten – Gesellschaft des 21. Jahrhunderts.



- 1 Barabasi, A.L.: *Linked. The New Science of Networks*. Perseus Publishing, Cambridge; Kleinberg, J.; Lawrence, S. *The Structure of the Web*. Science 294, 1849
- 2 Kauffman, S.: *The Origins of Order*, Oxford University Press, Oxford 1992
- 3 vgl. DARPA - Defense Advanced Research Projects Agency (Overview), March 2004, <http://www.darpa.mil/>
- 4 Baker, W.: *Achieving Success Through Social Capital*; A Wiley Company, San Francisco; Rosen, E.: *The Anatomy of Buzz. How to create word of mouth marketing*, Doubleday, London / New York
- 5 Neurath, W.; Katzmaier, H.: „Networks of Innovation – Evaluation and Monitoring Technology Programs based on Social Network Analysis“, Newsletter, Plattform für Forschungs- und Technologieevaluation (20); 2004; Neurath, W.; Katzmaier, H.: „Innovationsnetzwerke in Österreich. Potenziale und Anwendungen der sozialen Netzwerkanalyse im Kontext der österreichischen F&E Politik“; in *Wirtschaftspolitische Blätter* 50(3), 2003 S. 353 – 365
- 6 Die Community der SNA ist organisiert unter dem Dach der INSNA (International Network for Social Network Analysis). Es erscheint eine eigene Zeitschrift (CONNECTIONS). Jährlich organisiert die INSNA einen eigenen Kongress (Sunbelt Conference); Für nähere Informationen über die INSNA sowie über die Social Network Analysis siehe <http://www.sfu.ca/~insna/>
- 7 Cassirer, E.: *Substanzbegriff und Funktionsbegriff*; Berlin 1910
- 8 Einen guten Überblick findet man bei Monge, R. M.; Contractor, N. S. *Theories of Communication Networks*, Oxford University Press, Oxford, 2003
- 9 PAJEK <http://vlado.fmf.uni-lj.si/pub/networks/pajek/>  
 VISIONE <http://www.visione.de/>  
 MULTINET <http://www.sfu.ca/~richards/Multinet/Pages/multinet.htm>  
 KEYPLAYER <http://www.analytictech.com/keyplayer.htm>  
 WILMASCOPE <http://wilma.sourceforge.net/>  
 TULIP <http://www.tulip-software.org>  
 MAGE <http://kinemage.biochem.duke.edu/kinemage/kinemage.php>

- 10 Jünger, M.; Mutzel, P.: *Graph Drawing Software*, Springer, Wien / New York 2004
- 11 Krempel, L.: *Visualisierung komplexer Strukturen. Grundlagen der Darstellung mehrdimensionaler Netzwerke*. Köln: Max Planck Institut für Gesellschaftsforschung, 2004
- 12 Strogatz, S. H.: *Nonlinear Dynamics and Chaos*, Westview Press, Boulder, CO 1994
- 13 Rogers, M. E. T. (2003): *Diffusion of Innovations* (5<sup>th</sup> edition), Free Press, New York; Valente, W. T.: *Network Models of the Diffusion of Innovations*; Cresskill 1995
- 14 vgl. die Forschungstätigkeiten am Center for Computational Analysis of Social and Organizational Systems (CASOS) auf der Carnegie Mellon University (<http://www.casos.cs.cmu.edu/index.html>)
- 15 Watts, D.: *Six Degrees*; W. W. Norton & Company, New York 2004
- 16 Hargadon, A.: *How Breakthroughs Happen*, Harvard Business School Publishing, Harvard 2003
- 17 Kauffman, S.: *Investigations*, Oxford University Press, Oxford 2000