

# Veränderungen sichtbar machen

Mathias Pohl  
Lehrstuhl für Softwaretechnik  
Universität Trier  
pohlm@uni-trier.de

**Abstract:** Visualisierung ist ein wichtiges Hilfsmittel für die Analyse von Netzwerken. Eine speziell angepasste Darstellung zusammen mit besonderen Möglichkeiten zur Benutzerinteraktion erlauben das Erkunden vorhandener Strukturen aber auch ihrer übergeordneten Zusammenhänge. Allerdings sind die meisten Netzwerke nicht statisch sondern können sich mit der Zeit verändern. Eine geeignete Visualisierung für dynamische Netzwerke ist ein entscheidender Schritt hin zu deren besseren Verständnis. Dieses Papier zeigt anhand eines Kommunikationsnetzwerkes, welche Aspekte durch die Visualisierung als geschichteter Netzwerke herausgelesen werden können. Ohne den Blick auf die Gesamtheit der Beziehungen zu verlieren macht sie das Entstehen und die Veränderung von Strukturen aber auch ihr Verschwinden sichtbar.

## 1 Einleitung

Netzwerke sind veränderliche Gebilde. Zwar gibt es je nach Kontext große Unterschiede zwischen den Ausmaßen der Veränderungen, trotzdem sind alle Netzwerke (zumindest während ihrer Entstehung) einer gewissen Dynamik unterworfen. Gerade im Umfeld digitaler Netzwerke kommt hinzu, dass diese Änderungen einfach aufzuzeichnen sind, während in der eher traditionellen Form Änderungen durch einen Erfasser meist schon (wissentlich oder unwissentlich) gefiltert werden, so dass viele Informationen nicht mehr vorhanden sind. Obwohl Veränderungen eines Netzwerks, sowohl quantitativ als auch qualitativ gesehen, möglicherweise eine nicht unwichtige Menge an Information beinhalten können, sind sie in der Netzwerkanalyse bisher nur gelegentlich genauer analysiert worden.

Ein wichtiges Hilfsmittel für die Netzwerkanalyse ist die Visualisierung von Netzwerken – sei es, um interessante Strukturen ausfindig zu machen (Exploration) oder um andere über bereits bekannte Ergebnisse zu informieren. Gerade für die Exploration von Netzwerken und ihren Strukturen sind interaktive Visualisierungsprogramme bestens geeignet. Sobald es jedoch darum geht, die Evolution des Netzwerks bildlich darzustellen oder dynamische Filtermöglichkeiten anzubieten, sind die meisten Programme überfordert oder liefern unbefriedigende Ergebnisse. Zum einen wird oft die Gesamtstruktur über den betrachteten Zeitraum vernachlässigt, zum anderen sehen zu vergleichende zeitliche Zustände eines Netzwerkes plötzlich völlig anders aus, obwohl sie sich inhaltlich kaum unterscheiden.

Um sowohl den Gesamtkontext eines Netzwerkes, d.h. seine Gesamtstruktur über den gesamten Zeitraum, als auch seine Veränderung sichtbar zu machen ist die visuelle Metapher

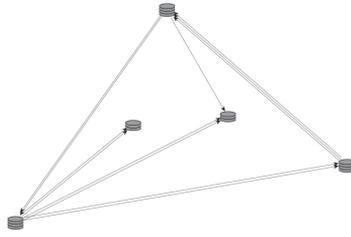


Abbildung 1: Ein Beispielnetzwerk zu drei unterschiedlichen Zeitpunkten.

der geschichteten Netzwerke geeignet. In dieser Darstellung werden die zum jeweiligen Zeitpunkt vorhandenen Strukturen übereinander gelegt (Abbildung 1). Diese Aufbereitungsform wurde bereits in anderen Bereichen erfolgreich eingesetzt [BC02, BDS03] und benötigt nur eine sehr geringe Einarbeitungszeit für den Benutzer. Wird diese Visualisierung mit geeigneten Interaktionstechniken erweitert, kann damit ein Netzwerk effizient hinsichtlich seinen dynamischen Eigenschaften analysiert werden.

## 2 Symbolik

Das mathematische Gegenstück zum Begriff *soziales Netzwerk* bildet der Begriff des *Graphen*, der aus einer (endlichen) Menge von Knoten  $V$  und einer daraus abgeleiteten Menge von Kanten  $E \subseteq V \times V$  besteht. Für einen Graphen  $G$  schreibt man daher meist  $V(G)$  um seine Knotenmenge und  $E(G)$  um seine Kantenmenge zu benennen. Von diesem Modell ausgehend kann man einen *dynamischen Graph*  $\mathcal{G}$  als eine Folge von Graphen auffassen – man schreibt daher  $\mathcal{G} = G_1, \dots, G_n$ . Für die Modellierung eines dynamischen Netzwerkes bedeutet dies, dass man für ausgewählte Zeitpunkte die jeweils aktuelle Struktur des Netzwerkes erfasst. Durch dieses diskrete Sampling können einige vorhandene Muster im Netzwerk möglicherweise zerstört werden. Diesem Problem tritt bei diesem Ansatz immer auf, kann aber durch eine höhere Samplingrate abgemildert werden.

## 3 Visuelle Umsetzung

Ein großer Nachteil der verwendeten Darstellungsform ist, dass es durch die Vielzahl der sichtbaren Artefakte zu einer Überladung kommen kann. Dies äußert sich in nur schlecht oder überhaupt nicht sichtbaren Einzelheiten, die perspektivisch verzerrt oder durch andere Objekte verdeckt sind. Um diese Nachteile zumindest größtenteils auszugleichen, empfiehlt sich die Benutzung dieser visuellen Metapher nur mit speziellen Interaktionsmöglichkeiten. Zum einen sollte der Benutzer in der Lage sein, die Darstellung zu drehen, zum anderen sollte es aber auch möglich sein, sich auf spezielle Objekte zu beschränken.

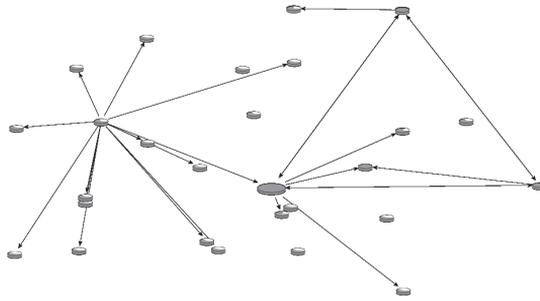


Abbildung 2: Das Emailnetzwerk nach Entfernen aller Knoten und Kanten, die nicht mindestens an zwölf Zeitpunkten vorhanden sind. Die auf den Knoten sichtbaren Kuchenstücke zeigen an, zu wievielen Zeitpunkten die Knoten vorhanden sind.

Eine solcher Filterung kann durch die Beschränkung auf Objekte, die in einer Mindestzahl an Netzwerken der Sequenz vorhanden sind erfolgen. Außerdem ist es nach einem ersten Überblick, die jeweiligen Zeitpunkte getrennt zu betrachten und Objekte, die zu anderen Zeitpunkten gehören, auszublenden. Schließlich ist es ebenfalls von Vorteil, wenn ein Benutzer in der Lage ist, die gestapelten Knoten und Kanten zusammenzuführen, so dass nur das gesamte Netzwerk ohne zeitliche Information sichtbar bleibt (vgl. Abbildung 2 und 3).

## 4 Fallstudie: Email-Netzwerk

### 4.1 Modellierung

Für das folgende Beispiel wurde das Emailarchiv einer Person herangezogen und das darin befindliche Kommunikationsnetzwerk  $K$  extrahiert. Ein solches Netzwerk zeichnet sich durch eine vergleichsweise große Dynamik aus. Zur dynamischen Analyse wurde es in die jeweiligen Kalendermonate so unterteilt, dass jeder Monat durch ein Netzwerk  $K_i$  repräsentiert wird. Es sind demnach alle Emails, die innerhalb des selben Kalendermonats versandt oder empfangen wurden in einem Netzwerk zusammengefasst. Für jeden Zeitabschnitt  $i$  gilt für das Netzwerk  $K_i$ :

$$(u, v) \in E(K_i) :\Leftrightarrow u \text{ hat } v \text{ im Zeitraum } i \text{ eine Mail gesendet}$$

Schrieb ein Benutzer  $u$  eine Mail an mehrere Empfänger, so finden sich im Netzwerk entsprechend viele Kanten (für jeden Empfänger eine). Ferner werden sowohl direkte Adressaten, als auch indirekte (CC) betrachtet.

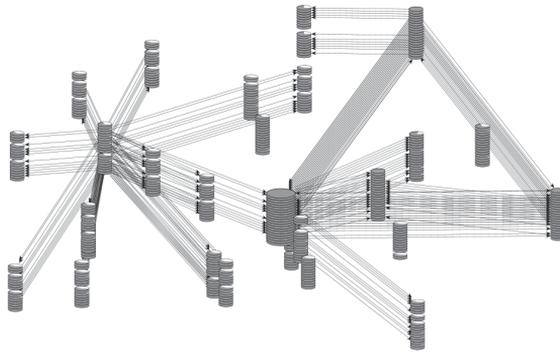


Abbildung 3: Das Emailnetzwerk aus Abbildung 2 in expandierter Form. Deutlich sichtbar sind drei Stapel (abgesehen vom zentralen Akteur), die ohne Unterbrechung gezeichnet sind.

Insgesamt erhält man so ein dynamisches Kommunikationsnetzwerk zwischen einer bestimmten Person (von der das Emailarchiv stammt) und ihren Bekannten, Arbeitskollegen und Geschäftspartnern – das Netzwerk kann daher als ein sog. *Ego-Netzwerk* bezeichnet werden. Zudem sind aber auch die Beziehungen zwischen diesen Kommunikationspartnern untereinander zumindest ansatzweise erkennbar (infolge Mails mit mehreren Adressaten).

## 4.2 Beobachtungen

Die gesamte vorhandene Struktur des eingelesebenen Mailarchivs präsentiert sich zunächst auf einen Blick und lässt bereits erste Schlüsse zu – insbesondere nach Zusammenführen der einzelnen Schichten (Abbildung 2).

**Cliquenbildung** Die Möglichkeit, die gezeigten Daten interaktiv nach Häufigkeiten zu filtern, ermöglicht einen Einblick in die Grundstruktur des Emailnetzwerks. Lässt man etwa nur Knoten und Kanten zu, die zu mindestens zwölf verschiedenen Zeitpunkten vorhanden sind, so bereinigt sich das Bild (Abbildung 2). Zwar könnte mit Hilfe dieser Ansicht schon eine genauere Analyse der Kommunikationsstrukturen vollzogen werden, doch nach dem Wiederauftürmen der entsprechenden Stapel zeigen sich noch weitere Muster (Abbildung 3). Deutlich erkennbar sind zwei Stapel auf der rechten Seite, die sich ohne Unterbrechung zeigen. Die repräsentierten Kommunikationspartner bilden ein Dreieck und scheinen für den untersuchten Emailnutzer von großer Wichtigkeit zu sein. Im konkreten Fall setzt sich das Dreieck aus den Mitarbeitern der gleichen Arbeitsgruppe zusammen.

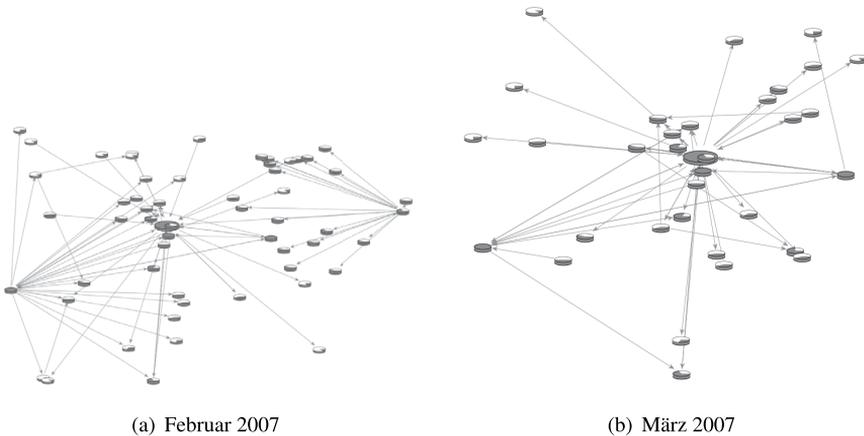


Abbildung 4: Das betrachtete Netzwerk für zwei aufeinanderfolgende Monate

**Verlagerung der Aktivitäten** Hat man sich einen Überblick über die gesamte Struktur verschafft und häufig auftretende Beziehungen identifiziert hat, so kann eine genauere Analyse der einzelnen Zeitabschnitte folgen. Betrachtet man einzelne Netzwerke der Sequenz genauer, so zeigt sich ein deutlicher Zerfall. An dieser Stelle soll beispielhaft auf zwei aufeinanderfolgende Netzwerke vom Februar und März 2007 herangezogen werden.

Vergleicht man diese beiden Netzwerke, so zeigen sich im Februar (Abbildung 4(a)) zwei große Gruppen rechts und links um den betrachteten Akteur (großer Kreis). Im Folgemonat (Abbildung 4(b)) ist dann nur noch der linke Teil (in etwas veränderter Form) zu sehen, während der rechte ausgeblendet wird. Dieses Phänomen zeigt sich im untersuchten Kommunikationsnetzwerk häufiger. Im Allgemeinen können solche Muster zwar nur von den beteiligten Personen aufgeklärt werden, jedoch geben sie Hinweise auf möglicherweise interessante Sachverhalte. Im vorliegenden Fall handelt es sich um ein Projekt in das die untersuchte Person involviert war und das aus vielen Personen bestand, die keinen darüberhinausgehenden Kontakt hatten.

## 5 Verwandte Arbeiten

Die meisten Arbeiten zur Visualisierung dynamischer Netzwerke beschäftigen sich mit Fragestellungen in Zusammenhang mit animierten Darstellungen. Dieser Ansatz zeigt die Strukturen der einzelnen Zeitabschnitte nacheinander und versucht möglichst gute Kompromisse zwischen globaler Stabilität (die sichtbaren Änderungen sollen auch nur tatsächlichen Änderungen entsprechen, oft als *Erhaltung der mentalen Karte* bezeichnet) und lokaler Qualität (das Netzwerk soll immer noch „gut“ aussehen) zu erzielen. Arbeiten wie *Foresighted Graph Layout* [DG02, GPBD04] und *GraphAEL* [CKN<sup>+</sup>03] benut-

zen hierfür Erweiterungen bereits bekannter statischer Layoutverfahren und wurden auch in speziellen Arbeitsumgebungen für soziale Netzwerke aufbereitet [PRB08]. Allerdings haben alle diese Verfahren den Nachteil, dass sie den gesamten Kontext in den Hintergrund rücken und sich stattdessen auf konkrete Zeitabschnitte fokussieren. Die hierfür besser geeignete Metapher der übereinander liegenden Netzwerke spielte bisher zur Arbeit mit sozialen Netzwerken keine Rolle. Allerdings ist sie bereits erfolgreich im Bereich der Softwaretechnik [BC02] und auch in der Bioinformatik eingesetzt worden [BDS03].

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Dynamik von Netzwerken kann oftmals wichtige Informationen enthalten. Die Tatsache, dass Akteure und Beziehungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten Aufnahme in ein betrachtetes Netzwerk gefunden haben, ist für die Analyse nicht unerheblich. Mit Hilfe der visuellen Metapher der gestapelten Netzwerke ist es möglich, auch die Veränderungen eines Netzwerks im Gesamtzusammenhang zu sehen. Am Beispiel eines Kommunikationsnetzwerkes zeigt sich, dass sich so ein völlig neuer Blick auf zu untersuchende Strukturen ergeben kann.

### Literatur

- [BC02] U. Brandes und S. R. Corman. Visual Unrolling of Network Evolution and the Analysis of Dynamic Discourse. *Proc. of the IEEE Symposium on Information Visualization*, Seiten 141–151, 2002.
- [BDS03] U. Brandes, T. Dwyer und F. Schreiber. Visualizing Related Metabolic Pathways in Two and a Half Dimensions. In *11th Int. Symp on Graphdrawing, LNCS 2912*, 2003.
- [CKN<sup>+</sup>03] C. Collberg, S.G. Kobourov, J. Nagra, J. Pitts und K. Wampler. A System for Graph-Based Visualization of the Evolution of Software. In *Proc. of ACM Symposium on Software Visualization, SOFTVIS*, Seiten 77–86, 2003.
- [DG02] S. Diehl und C. Görg. Graphs, They Are Changing. In *Proc. of 10th Int. Symp. on Graphdrawing, GD, LNCS 2528*, Seiten 23–30. Springer, 2002.
- [GPBD04] C. Görg, M. Pohl, P. Birke und S. Diehl. Dynamic Graph Drawing of Sequences of Orthogonal and Hierarchical Graphs. In *Proc. of 12th Int. Symp. on Graphdrawing, GD, LNCS 3383*, Seiten 228–238. Springer, 2004.
- [PRB08] M. Pohl, F. Reitz und P. Birke. As Time Goes by - Integrated Visualization and Analysis of Dynamic Networks. In *Proc. of Int. Work. Conf. on Advanced Visual Interfaces, AVI 2008 (erscheint demnächst)*, 2008.