



NETWORK SCIENCE AM BEISPIEL DES INTERNATIONALEN FINANZMARKTES

Michael Gertz

Auszug aus dem Jahresbericht
2017 / 2018 des Marsilius-Kollegs





NETWORK SCIENCE AM BEISPIEL DES INTERNATIONALEN FINANZMARKTES

Komplexe Systeme sind allgegenwärtig. Man findet sie sowohl in den Naturwissenschaften, wie beispielsweise in der Biologie, der Medizin oder der Physik, als auch in den Gesellschaftswissenschaften, hier insbesondere in den Wirtschafts- und Politikwissenschaften. Als komplexes System wird allgemein eine Gesamtheit von Elementen bezeichnet, die miteinander verbunden sind und dadurch als eine aufgaben- oder zweckgebundene Einheit betrachtet werden können. Die meisten Systeme sind weiterhin adaptiv, d. h. sie sind imstande, sich an ihre Umgebung anzupassen, indem sie auf Ereignisse reagieren. Eine typische Repräsentationsform von komplexen Systemen sind Netzwerke bzw. Graphen, welche aus einer Menge von Knoten, meist Objekte oder Agenten darstellend, und einer Menge von Kanten bestehen. Die Kanten beschreiben dabei zeitveränderliche Eigenschaften der Interaktionen zwischen den Objekten oder Agenten. Reale (komplexe) Netzwerke haben dabei meist nicht-triviale Eigenschaften, d. h. sie repräsentieren nicht einfach ein Gitter oder ein zufälliges Netzwerk.

Komplexe Netzwerke als Beschreibungsform zur Analyse und Exploration komplexer Systeme haben in den letzten beiden Jahrzehnten immens an Interesse gewonnen. Dies liegt insbesondere daran, dass aufgrund verbesserter Experimente, Instrumente und Sensorik, Daten zu komplexen Systemen wesentlich einfacher erfasst und deren Abbildung auf Netzwerke umfassender umgesetzt werden können. Der Begriff „Netzwerk“ ist auch in unserem Alltag allgegenwärtig und prägt Forschungsbereiche in den verschiedensten Disziplinen, meist unter dem Begriff „Network Science“

zusammengefasst. Hierzu gehören technologische Netzwerke, wie z. B. das Internet und Versorgungs- und Transportnetzwerke; Informationsnetzwerke, hier insbesondere das World Wide Web und Zitationsnetzwerke; biologische Netzwerke, bei denen Protein-Protein Interaktionen, Metabolische Netzwerke und Human Disease Netzwerke untersucht wurden; und natürlich die sozialen Netzwerke und Medien wie Facebook, Twitter oder Instagram.

In dem Forschungsprojekt im Rahmen der Marsilius-Fellowklasse 2017/18 habe ich zusammen mit meinem Kollegen Christian Conrad vom Alfred-Weber-Institut für Wirtschaftswissenschaften eine besondere, aber für unsere Gesellschaft sehr wichtige Art von Netzwerken untersucht, die Finanzmärkte (siehe hierzu auch den Bericht von Christian Conrad auf S. 78). Der internationale Finanzmarkt stellt ohne Frage wohl eines der komplexesten Systeme dar, mit einer Vielzahl von heterogenen Akteuren und Objekten sowie einer immensen Breite an explizierten, latenten und insbesondere zeitveränderlichen Beziehungen. Teile von Finanzmärkten sind in der Vergangenheit schon umfassend mithilfe von Methoden der Network Science untersucht worden. Hierzu zählen insbesondere Banken und Einrichtungen, die an der globalen Banken- und Finanzkrise als Teil der Weltwirtschaftskrise beginnend 2007 beteiligt waren. Entsprechende Netzwerke wurden dabei meist manuell aus einer Vielzahl an Datenquellen konstruiert, um die Abhängigkeiten zwischen Banken und Finanzinstitutionen in Form eines Netzwerkes zu modellieren und insbesondere die Robustheit des daraus resultierenden Netzwerkes zu untersuchen. Was passiert, wenn eine Bank bzw. ein Knoten in dem Netzwerk ausfällt, von dem andere Knoten abhängig sind, z. B. aufgrund von Krediten oder Verschuldungen? Mithilfe geeigneter Analysemethoden konnte gezeigt werden, wie das Netzwerk der Finanzinstitutionen über die Zeit immer fragiler wurde, so dass letztendlich die gesamte Funktionalität dieses komplexen Systems zusammenbrach und sich erst über einen längeren Zeitraum (durch Umstrukturierungen in dem Netzwerk) wieder stabilisieren konnte.

Der Fokus unseres Projektes war es, aus frei zugänglichen Daten zu einem Teil von internationalen Finanzmärkten automatisch zeitveränderliche Netzwerke zu konstruieren und diese Netzwerke bzgl. ihrer Eigenschaften zu analysieren. Untersuchungsgegenstand waren die in dem Standard & Poor's 100 (S&P 100) aufgeführten Unternehmen. Hierbei handelt es sich um große börsennotierte US-Unternehmen, u. a. aus den Bereichen Versicherungen, Pharma, Banken, Telekommunikation, Versorger und Technologie. Wir haben zwei Datenquellen zu Erstellung von Netzwerken

herangezogen. Eine Datenquelle über Yahoo! Finance bietet die Eröffnungs- und Schlusskurse der Aktien zu den Unternehmen in Form von Zeitreihen an. Die andere Datenquelle waren Nachrichten zu den Unternehmen aus typischen Online News Outlets wie Reuters, New York Times und International Business Times. Für den Zeitraum Januar 2016 bis Mai 2017 haben wir für die Untersuchungen im Rahmen des Projekts die Zeitreihen zu den Aktienkursen aller dieser Unternehmen sowie etwas über 100.000 News-Artikel, in denen diese Unternehmen erwähnt wurden, zusammengestellt. Entsprechende Daten werden auch im Nachgang zu dem Projekt weiter gesammelt und analysiert.

Die netzwerkbasierete Analyse der Daten sollte die folgende Hypothese untersuchen: signifikante Events, die sich in den Aktienkursen zu den Unternehmen zeigen, sollten sich auch in zeitlicher Nähe, also vor oder nach dem Event, in den Nachrichten zu den Artikeln widerspiegeln. Wenn also beispielsweise der Aktienkurs zweier Unternehmen an einem Tag sehr stark anstieg, so sollten diese beiden Unternehmen (zusammen) häufiger in den Nachrichten erwähnt werden als üblich. Bei dieser Fragestellung handelt es sich also im Wesentlichen um eine Korrelationsanalyse. Ein Idealfall wäre natürlich, wenn eine entsprechend häufige Erwähnung eines Unternehmens in den Nachrichten indikativ ist für eine zeitlich nachfolgende positive oder negative Veränderung des Aktienkurses des Unternehmens. Ein entsprechendes Verfahren könnte somit als eine Art Prädiktor für Aktienkurse dienen.

Die Grundidee unserer Methode besteht also darin, dass man Beobachtungen zu den Akteuren eines komplexen Systems sammelt (hier die Aktienkurse und Nachrichten) und versucht, signifikante Korrelationen in diesen Beobachtungen zu bestimmen, die sich dann als Kanten in dem Netzwerk modellieren lassen. Wie bei vielen anderen Ansätzen zu einer netzwerkbasiereten Analyse auch besteht die Problematik dieser Methode in der Zusammenstellung und Aufbereitung der teils sehr heterogenen Daten. Dank der Mithilfe eines Masterstudenten der Informatik, Herrn Felix Stern, konnten wir in der zweiten Hälfte unseres Projektes auf zwei große und gut strukturierte Datensätze zurückgreifen, aus denen entsprechende Netzwerke abgeleitet werden konnten. Aus den Zeitreihen zu den Aktienindizes wurden mithilfe von Verfahren zur Zeitreihenkorrelation Folgen von Netzwerken abgeleitet, die die Korrelationen der Unternehmen bezüglich der Entwicklung ihrer Aktienkurse über die Zeit modellieren. Aus den Nachrichtenartikeln wurden ebenso Zeitreihen abgeleitet, basierend auf der Anzahl der Erwähnung der Unternehmen in den



Artikeln. Hierbei wurden insbesondere gemeinsame Erwähnungen der Unternehmen, sogenannte Kookkurrenzen, berücksichtigt.

Nach der sehr umfangreichen Aufbereitung der Daten zur Analyse lagen somit zwei Folgen von zeitveränderlichen Netzwerken vor, in denen die Knoten die Unternehmen und die Kanten die Korrelation der Unternehmen basierend auf Aktienkursen bzw. Erwähnungen in Nachrichten darstellen. Basierend auf diesen Netzwerken haben wir untersucht, wie sich bestimmte Arten von Events in der

Sequenz eines Netzwerktyps, meist zu den Aktienkursen, in den anderen Netzwerken zeitlich widerspiegeln. Eine voll umfassende Analyse und experimentelle Evaluation aller Arten geeigneter Events und Korrelationen war aufgrund der Datenbasis und auch aufgrund des zeitlichen Rahmens leider nicht vollständig möglich. Jedoch konnten wir einige sehr interessante Einblicke in die Evolution der Netzwerke mithilfe von Methoden der Netzwerkanalyse erzielen. Hierzu haben wir uns insbesondere die Positionierung einzelner Unternehmen (Knoten) in den Netzwerken über die Zeit angesehen und wie sich deren Gewichtung der Beziehungen (Kanten) über die Zeit verändern. Als Beispiel sei hier die Konstellation der Unternehmen der Branchen Pharma und Biotechnologie des S&P 100 erwähnt, die direkt nach der Wahl Donald Trumps zum 45. Präsidenten der Vereinigten Staaten einen starken Anstieg in den Aktienkursen zeigten und somit in dem Netzwerk eine stark zusammenhängende Komponente bildeten. Zuvor waren einige dieser Unternehmen immer wieder in (meist positiven) Äußerungen von Trump in den Nachrichten erwähnt worden.

Das Projekt hat uns exemplarisch gezeigt, wie man mithilfe von Beobachtungen zu einem komplexen System, über die Zeit eine umfassende Beschreibung des Systems in Form eines Netzwerks ableiten kann. Netzwerke haben den Vorteil, dass sie Objekte im Kontext darstellen und dass Beziehungen zu anderen Objekten über die Zeit geeignet mit gewichteten Kanten modelliert werden können. Voraussetzung für ein solches Vorgehen ist natürlich eine umfassende und gut strukturierte Datenbasis. Trotz signifikanter Fortschritte in der Digitalisierung und den Verfahren zur Extraktion von Informationen aus unstrukturierten Daten bildet die Phase der Datenvor-

bereitung noch den größten Aufwand. Gerade dieser Problematik nehmen sich aber aktuell wissenschaftliche Disziplinen wie „Data Science“ an. Hier geht es insbesondere darum, in einem interdisziplinären Kontext Methoden der Informatik und der Datenanalyse effektiv und effizient in konkreten Anwendungsbereichen umzusetzen. In einer Weiterführung des hier beschriebenen Projekts werden wir versuchen, weitere Datenquellen zu Finanzmärkten in den netzwerkorientierten Ansatz mit einzubeziehen und insbesondere neue Methoden zur Analyse solcher komplexer und zeitveränderlicher Netzwerke zu entwickeln.

Das Jahr als Marsilius-Fellow fand ich immens bereichernd. Durch meine vielen interdisziplinären Forschungsprojekte hatte ich in der Vergangenheit schon einige Einblicke in die verschiedensten Disziplinen gewonnen. Das Kolleg hat aber meine Einblicke in die Methoden und Arbeitsweisen u. a. in der Medizin, Psychologie, Psychiatrie und der Volkswirtschaftslehre signifikant erweitert. Die wöchentlichen Treffen und Diskussionen mit Kolleginnen und Kollegen waren äußerst spannend und interessant. Aus vielen Vorträgen habe ich Ideen und Ansätze mitgenommen, die ich in meine Arbeiten einfließen lassen kann. Insbesondere habe ich festgestellt, dass zwischen den auf den ersten Blick so verschiedenen Disziplinen doch sehr viele Gemeinsamkeiten hinsichtlich wissenschaftlicher Methoden bestehen. Das Marsilius-Kolleg ist der ideale Ort, diese Gemeinsamkeiten zu erarbeiten, neue Brücken zwischen den Disziplinen zu bilden und so seinen Horizont zu erweitern. Ich halte das Marsilius-Kolleg für eine „Perle“ und Alleinstellungsmerkmal dieser Universität, das dank einer exzellenten Leitung hoffentlich auch in der Zukunft als „der“ Treffpunkt der Wissenschaften dient.