

Ausbreitung von Infektionskrankheiten auf Kontaktnetzwerken

Maria Kasper¹, Hartmut Lentz¹, Thomas Selhorst¹, Brigitte Petersen²

¹Friedrich-Loeffler-Institut, Institut für Epidemiologie, Seestraße 55, 16868 Wusterhausen, Maria.Kasper@fli.bund.de ²Universität Bonn, Institut für Tierwissenschaften, Abteilung Präventives Gesundheitsmanagement, Katzenburgweg 7-9, 53115 Bonn

Abstract: Bei der Verbreitung von Krankheitserregern und bei der Rückverfolgbarkeit im Krisenfall spielt unter anderem die Handelsstruktur entlang der Produktionskette eine bedeutende Rolle. Mit Hilfe von Methoden der Netzwerkanalyse werden Tierbewegungsdaten aus der Datenbank des Herkunfts- und Informationssicherungssystems für Tiere (HI-Tier) zwischen Rinder und Schweine haltenden Betrieben untersucht. Im Regelfall wird das Hauptaugenmerk hinsichtlich der Verbreitung von Infektionskrankheiten auf die geographische Nähe der betroffenen Betriebe gelegt. Jedoch kann es möglich sein, dass ein Betrieb andere Betriebe durch den Handel mit erkrankten Tieren infiziert, obwohl diese beliebig weit entfernt liegen. Für die Netzwerkbeschreibung ist die geographische Lage sekundär. Die Relevanz einzelner Betriebe hinsichtlich der Ausbreitungsdynamik von Infektionskrankheiten wird durch Zentralitätsmaße beschrieben. Die Analyse kann zur Identifizierung und Lokalisation von Hochrisikobetrieben in der Handelsstruktur dienen. Durch die Erkennung dieser Betriebe könnten gezielte Präventivmaßnahmen ergriffen werden, um die Ausbreitung einzudämmen.

1 Einleitung

Tierseuchen verbreiten sich durch den Kontakt von empfänglichen Tieren mit infizierten Tieren. Kontakte werden in direkte und indirekte Kontakte unterteilt. Direkte Kontakte finden von Tier zu Tier statt. Indirekte Kontakte werden durch belebte und unbelebte Faktoren bestimmt. Die Wahrscheinlichkeit einer Infektionsverbreitung durch direkte Kontakte zwischen einem empfänglichen Tier und einem infizierten Tier ist bedeutend höher als ein indirekter Kontakt. Bei indirekten Kontakten ist ein Vektor notwendig, wobei dieser Einflüssen unterworfen sein kann, die die Wahrscheinlichkeit der Übertragung des Erregers vermindern. Der Handel mit lebenden Tieren stellt somit einen bedeutenden Risikofaktor hinsichtlich des Eintrags und der Weiterverbreitung von Krankheitserregern dar [F00; O06].

2 Material und Methoden

In dieser Arbeit werden exemplarisch die in HI-Tier (Herkunftssicherungs- und Informationssystem für Tiere) verzeichneten Tierbewegungen im Zeitraum vom 01.01. – 31.12.2007 zwischen Schweine haltenden Betrieben in einem deutschen Bundesland A mit Methoden der Netzwerkanalyse untersucht. Für diese Analyse stehen in der HI-Tier-Datenbank folgende Daten zur Analyse des Schweinehandels zur Verfügung: der Vor- und Nachbesitzer (über Betriebsnummer), der Zeitpunkt der Tierbewegung (Zugangsdatum) und die Größe der Charge [HIT08]. Es werden die Tierbewegungen summarisch für den Bewegungszeitraum zusammengefasst. Eine Verbindung zwischen zwei Betrieben besteht genau dann, wenn im betrachteten Zeitraum mindestens eine Tierbewegung zwischen den Betrieben stattgefunden hat. Es wurden auch Betriebe berücksichtigt, die nicht im betrachteten Untersuchungsgebiet lagen, zu denen aber Handelsbeziehungen bestanden.

Netzwerke (mathem. Graphen) werden durch Knoten und Kanten aufgespannt. Eine Kante verbindet dabei jeweils zwei Knoten. Spielt die Richtung der Kanten eine Rolle, so spricht man von einem gerichteten Graphen. In dieser Arbeit entsprechen landwirtschaftliche Betriebe den Knoten und Handelsbeziehungen zwischen zwei Betrieben den Kanten. Die Begriffe Knoten und Betrieb bzw. Kanten und Handelsverbindung werden im Folgenden synonym verwendet.

In dieser Arbeit wird das Handelsnetz durch eine Nachbarschaftsmatrix (Adjazenzmatrix) beschrieben. Sie gibt an, ob Knotenpaare (i,j) miteinander verbunden sind. Die Elemente der Adjazenzmatrix a_{ij} sind 1, wenn es eine Verbindung zwischen i und j gibt und 0, falls es keine Verbindung zwischen i und j gibt.

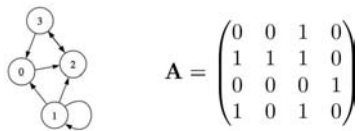


Abbildung 1: Beispiel eines gerichteten Graphen mit dazugehöriger Adjazenzmatrix

Um die Relevanz einzelner Betriebe hinsichtlich des Handels von Tieren zu messen, werden Zentralitätsmaße definiert. Das einfachste Maß ist der Grad eines Knotens. Dieser gibt an, wie viele Verbindungen in einen Knoten hinein (In-Grad) bzw. aus einem Knoten hinaus laufen (Aus-Grad) und lässt sich direkt aus der Nachbarschaftsmatrix berechnen. Ein weiteres Zentralitätsmaß ist die sog. Zwischenzentralität (engl. betweenness) eines Betriebes. Dieses Maß gibt an, wie häufig ein Betrieb auf den kürzesten Verbindungen zwischen allen Betrieben des Netzwerkes liegt. Betriebe mit hoher Zwischenzentralität sind auf den ersten Blick unscheinbar, wenn sie nur sehr wenige Handelspartner haben. Unter Umständen können diese Knoten die Funktion einer „Brücke“ zwischen Clustern von Betrieben übernehmen, wodurch es bei einem Entfernen des Betriebes (z.B. durch Handelsrestriktionen) zu einem Zerfall des Netzes in zwei isolierte Teilstücke kommen kann [N03].

Nach der Berechnung aller Grade eines Graphen lässt sich deren Verteilung bestimmen. Diese kann verschiedene Formen haben: eine exponentielle Gradverteilung (für Zufalls-

netzwerke) und eine power-law Gradverteilung (für die meisten in der Natur vorkommenden Graphen). Wenn die Gerade eines Graphen power-law verteilt ist, nennt man das Netz auch skalenfrei, was zur Folge hat, dass der epidemiologische Schwellenwert sich verringert. Als Konsequenz kann sich eine Infektionskrankheit auch bei sehr geringer Infektionswahrscheinlichkeit auf dem ganzen Netz ausbreiten [PV02].

4 Ergebnisse

Das untersuchte Handelsnetz besteht aus $V= 18817$ Betrieben (Knoten) und $E= 43778$ gerichteten Kanten. Es ist zu beachten, dass nicht alle Betriebe innerhalb der ausgewählten Landkreise liegen. Die Handelsbeziehungen werden durch die empirischen Grad-Verteilungen (In- und Aus- Grad) näher beschrieben (Abb.2). Die beobachtete Aus-Gradverteilung scheint gut durch eine angenommene power-law Verteilung approximiert zu werden. Bezüglich der In-Grad-Verteilung ist eine eindeutige Unterscheidung hinsichtlich der Verteilungsart aufgrund der zu geringen Datenmenge noch nicht möglich.

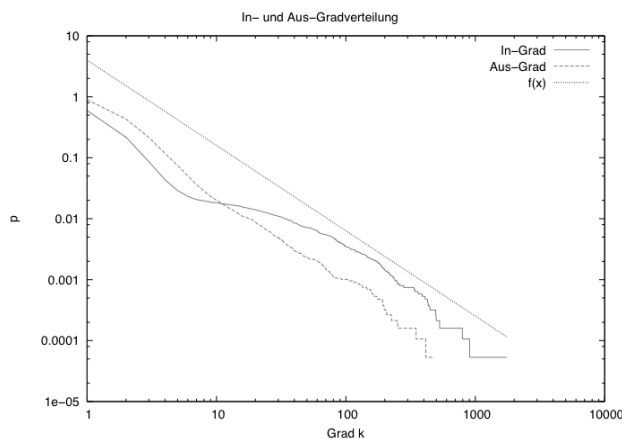


Abbildung 2: Logarithmische Darstellung der In- und Aus- Gradverteilungen für das Bundesland A. Zusätzlich zu den empirischen Verteilungen ist zur Orientierung eine Power-law Verteilung $f(x) = x^{-\alpha}$ mit Parameter $\alpha = 1.4$ angegeben.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Der Handel spielt bei der Ausbreitung von Infektionserregern zwischen landwirtschaftlichen Nutztieren eine bedeutende Rolle. Informationen über die Tierbewegungen von Rindern und Schweinen stehen für ganz Deutschland zur Verfügung und konnten in dieser Arbeit exemplarisch für den Schweinehandel in Bundesland A graphentheoretisch ausgewertet werden. Hauptaugenmerk bei dieser Untersuchung ist die Bedeutung einzelner Betriebe innerhalb der Ausbreitungsdynamik einer Infektion. Die Relevanz wurde mittels Zentralitätsmaßen berechnet. Betriebe, die für die Ausbreitung wesentlich sind, haben einen hohen Grad oder eine hohe Zwischenzentralität. Betriebe mit hohem Aus-Grad geben eine Infektion unmittelbar an eine große Zahl von Handelspartnern weiter,

wobei bei Betrieben mit hohem In-Grad eine hohe Ansteckungsgefahr aufgrund der vielen Zukäufe von unterschiedlichen Handelspartnern existiert. Liegt ein Betrieb häufig auf den kürzesten Verbindungen zwischen anderen Betrieben, dann kann er eine Verbindung zwischen zwei Clustern von Betrieben darstellen. Solche Betriebe haben eine hohe Zwischenzentralität. Da Grad und Zwischenzentralität gering korreliert sind, erscheinen Betriebe mit hoher Zwischenzentralität oft unauffällig. Über die Gradverteilung können aufgrund der relativ kleinen Datenmengen keine zuverlässigen Aussagen über die Art der Verteilung getroffen werden. Dennoch liegt die Vermutung nahe, dass bei ausreichender Datenmenge eine power-law Verteilung zumindest annäherungsweise vorliegt. In diesem Fall wird sich der epidemiologische Schwellenwert verringern, so dass eine Ausbreitung der Krankheit wahrscheinlicher wird.

In der bisherigen Analyse wird davon ausgegangen, dass ein kontinuierlicher Handelsfluss stattfindet. Dies ist eine starke Vereinfachung der tatsächlichen Verhältnisse, da es zwischen Tierbewegungen zu Wartezeiten kommt. Wartezeiten sind die Zeiten, in denen ein Betrieb nicht handelt. Während dieser Zeiten ist er vom Netz entkoppelt. Da Informationen zu den Wartezeiten in der Datenbank enthalten sind, können diese bei zukünftigen Auswertungen berücksichtigt werden. Weiterhin ist zu prüfen, ob das Handelsnetz durch das Entfernen von bestimmten Betrieben oder auch Verbindungen in einzelne Komponenten (Inseln) zerfällt. Dies ist im Hinblick auf die Tierseuchenbekämpfung von besonderer Bedeutung. Zum Auffinden dieser Betriebe und Verbindungen können sowohl die Zwischenzentralität als auch die Wartezeiten verwendet werden. Um die Dauer einer Epidemie und die Zahl der betroffenen Betriebe ermitteln zu können, ist eine Ausbruchssimulation auf einem Handelsnetz notwendig. Hiermit können auch Zusammenhänge zwischen den Kenngrößen des Netzes und den Kenngrößen der Epidemie bestimmt werden.

Ein Handelsnetz ist nur ein Teilaspekt hinsichtlich der Ausbreitung von Infektionskrankheiten in landwirtschaftlichen Nutztierpopulationen. Will man die gesamte Dynamik erfassen, so müssten die Übertragungswege durch Personen, Fahrzeuge und andere Vektoren, und die Krankheitsdynamik innerhalb der Bestände mit erfasst werden. Insbesondere hinsichtlich dieser weiteren Übertragungswege ist entweder kein oder nur schwer zugängliches Datenmaterial vorhanden.

Literaturverzeichnis

- [HIT08] Herkunftssicherungs- und Informationssystem für Tiere, Stand: 20.10.2008. <http://www.hi-tier.de>
- [O06] Ortiz-Pelaez A., D.U. Pfeiffer, R.J. Soares-Magalhães, und F.J. Guitian (2006): Use of social network analysis to characterize the pattern of animal movement in the initial phases of the 2001 foot and mouth disease (FMD) epidemic in the UK. In: *Prev.Vet. Med.*, 76:40-55.
- [N03] Newman M. E. J (2003): The structure and function of complex networks. *SIAM Review*, 45:167, 2003. [F00] J. Fritzscheier, J. Teuffert, I. Greiser-Wilke, Ch. Staubach, H. Schlüter & V. Moennig (2000): Epidemiology of classical swine fever in Germany in the 1990s. In: *Veterinary Microbiology*, Volume 77, Issues 1-2, 15 November 2000, Pages 29-41
- [PV02] Pastor-Satorras R, & A. Vespignani (2002): Epidemic dynamics in finite size scale-free networks. In: *PhysRevE*; 65; 3.