

DIE KLEINE WELT DER PANDEMIE

Boris Holzer

Der Verlauf der Covid-19-Pandemie hat die Nebenfolgen intensiver weltweiter Verflechtung vor Augen geführt. In kurzer Zeit verbreitete sich – nach bisherigem Kenntnisstand – ausgehend von der chinesischen Provinz Hubei das SARS-CoV-2-Virus in der Region und bald darauf in der ganzen Welt. Die Ansteckung erfolgt über Kontakte zwischen Personen und damit (auch) über soziale Netzwerke. Die Maxime des ›Social Distancing‹ soll entsprechende Vorsicht nahelegen, da soziale Kontakte in Zeiten der Pandemie riskant sind: Physische Nähe schafft Gelegenheiten für eine Übertragung. Eine Ansteckung zu verhindern, so wird immer wieder betont, ist nicht nur im Interesse des Einzelnen, sondern aller: Wer als Glied einer immer mehr Personen erfassenden Infektionskette ausfällt, kann dazu beitragen, dass sich die Ausbreitung der Pandemie verlangsamt. Der Beitrag des Einzelnen wird dadurch potenziert, dass die Zahl der von ihm mittelbar Infizierten exponentiell wachsen kann: Wenn an zweiter Stelle sechs Personen angesteckt werden, die wiederum sechs Personen infizieren, so kommt man schnell von 36 auf 216 und bereits im sechsten Schritt auf 46 656 Infizierte.

Die exponentielle Wachstumsdynamik allein erklärt jedoch nicht, wie die Covid-19-Pandemie sich in kurzer Zeit weltweit verbreiten konnte. Nach dem mutmaßlichen Ausbruch in der chinesischen Stadt Wuhan mussten nicht erst Hunderte Millionen Chinesen infiziert werden, bevor Infektionen in Nachbarländern und bald rund um den Globus auftraten. Die Ausbreitung vollzieht sich vielmehr nach dem Muster einer globalen Diffusion mit regionalen ›Hotspots‹, die über Infektionsketten miteinander verknüpft sind. Die Gesundheitsämter sind damit beschäftigt, diese Dynamik nachzuvollziehen. Eine der ersten Infektionsketten, die dokumentiert ist, führte von Wuhan in China nach Stockdorf in Bayern: Eine

chinesische Mitarbeiterin der Firma Webasto reiste im Januar von Schanghai zum bayerischen Firmensitz – und transportierte dabei, wie sich später herausstellte, auch das Corona-Virus, da sie einige Tage zuvor von ihren Eltern aus Wuhan besucht worden war. Ende Januar staunte man noch über die Unwahrscheinlichkeit einer solchen Verbindung, inzwischen hat man sich daran gewöhnt.

ERREICHBARKEIT IN EINER KLEINEN WELT

Dies entspricht der Struktur jener Form sozialer Netzwerke, die als ›Small world‹-Netzwerke bezeichnet werden: Obwohl nicht jeder mit jedem direkt in Verbindung steht, ist ein beliebiger Knoten im Netzwerk in wenigen Schritten erreichbar. Für Bekanntschaften und Freundschaften konnten verschiedene Studien zeigen, dass die Annahme von ›six degrees of separation‹, also einer durchschnittlichen Distanz von sechs Zwischenschritten, eine gute Orientierung bietet: Demnach lässt sich zwischen zwei beliebigen Menschen eine Verbindung über persönliche Bekanntschaften konstruieren, die im Durchschnitt nicht mehr als sechs Zwischenschritte benötigt. In den 1960er Jahren versuchte der Sozialpsychologe Milgram, diese Hypothese empirisch zu überprüfen. Durch ein Experiment sollte die Länge der Kontaktwege von mehreren Gruppen zufällig ausgewählter Amerikaner zu einem festgelegten Endpunkt ermittelt werden.¹ Einwohner des Mittleren Westens wurden zum Beispiel aufgefordert, einen Brief auf den Weg zu einem Broker in Boston zu bringen, ihn dazu aber an jemanden weiterzuleiten, der ihnen selbst *persönlich* bekannt war und von dem sie vermuteten, dass er näher am Gesuchten sei als sie selbst. Dieser nächste Bekannte wurde wiederum darum gebeten, analog vorzugehen, bis das Ziel erreicht wäre. Es stellte sich heraus, dass die Zahl der Stationen im Durchschnitt bei unter sechs lag – die These einer ›kleinen Welt‹ konnte also bestätigt werden.² Eine spätere Wiederholung der Versuchsanordnung mit Mitteln elektronischer Kommunikation ergab für Email-Ketten innerhalb desselben Landes einen Median von 5 Stationen, über Landesgrenzen hinweg lag er bei 7 Stationen.³

Ist dies überhaupt ein überraschendes Ergebnis? Schließlich sind über einige Zwischenschritte, wie wir weiter oben festgestellt haben, im Prinzip sehr viele Personen erreichbar: Mit durchschnittlich hundert Bekannten pro Person käme man bereits im zweiten Schritt auf zehntausend Bekannte von Bekannten; spätestens nach fünf Stationen hätte man einen Kon-

taktpool, der größer wäre als die Erdbevölkerung.⁴ Diese simple Rechnung geht aber nicht auf. Sie übersieht eine wesentliche Eigenschaft sozialer Netzwerke: Die Verdichtung von Kontakten durch überlappende Bekannntenkreise, das sogenannte ›Clustering‹. Da sich viele Bekannte von Bekannten gegenseitig kennen, ist es praktisch unmöglich, in jedem Schritt hundert *neue* Kontakte zu erreichen. Es ist also in sozialen Netzwerken keineswegs zu erwarten, dass man bereits in wenigen Schritten jeden Knoten erreichen kann. Das Milgram-Experiment weist auf ein ›Paradox sozialer Netzwerke‹ hin: Obwohl sie lokal stark verdichtet sind, ist jeder Kontakt in wenigen Schritten erreichbar.⁵

Durch Computersimulationen unterschiedlicher Netzwerktopologien konnten die Parameter, die hierfür verantwortlich sind, genauer bestimmt werden. Es zeigte sich, dass schon wenige direkte Verbindungen zwischen den Clustern eines Netzwerks ausreichen, um die Länge der jeweils kürzesten Verbindung zwischen zwei beliebigen Knoten – die durchschnittliche ›Pfaddistanz‹ des Netzwerks – deutlich zu verringern.⁶ Einige solche ›Shortcuts‹ genügen, um das Netzwerk zu einer ›kleinen Welt‹ zu machen. Dies erklärt den Überraschungseffekt, der sich bei der Entdeckung der Erreichbarkeit häufig einstellt: Das Clustering ist eine lokale Eigenschaft, die in Form der wechselseitigen Bekanntschaft von Bekannten von jedem Punkt des Netzwerks erfasst werden kann. Die Verbindung zu anderen Teilen des Netzwerks beruht auf wenigen und dementsprechend unauffälligen Shortcuts. So entsteht ein großes, nicht besonders dicht geknüpftes, aber dennoch effizient verbundenes Netzwerk. Es gibt zwar ein hohes Maß lokaler Verdichtung, die Nachbarn eines Knotens sind also in Clustern untereinander vernetzt, aber bereits wenige Shortcuts genügen, um die durchschnittliche Pfaddistanz zwischen zwei beliebigen Knoten des Netzwerks drastisch zu reduzieren.

Die experimentelle Bestätigung der ›kleinen Welt‹ wirft jedoch die Frage auf, unter welchen Umständen man überhaupt in die Verlegenheit kommen wird, einen Brief über fünf Zwischenstationen zu leiten. In den meisten Fällen ermöglichen Adressverzeichnisse – oder auch eine Internetrecherche – eine direktere und effizientere Adressierung. Aus diesem Blickwinkel scheinen Milgrams und Watts' ›Small world‹-Experimente eher ›Krisenexperimente‹ darzustellen:⁷ Sie demonstrieren gewissermaßen, wie Kommunikation ohne die Möglichkeit direkter Adressierung (und ohne moderne Massenmedien) noch möglich wäre. Im Normalfall wäre es allerdings wenig effektiv, wollte man Nachrichten über eine derartige ›Flüsterpost‹ an den Empfänger bringen. Es stellt sich deshalb die Frage, wann Zwischenstationen im Netzwerk überhaupt aktiviert werden, um

entfernte Kontakte zu erreichen. Es gibt Fälle, in denen dies wahrscheinlich ist. Zum Beispiel könnte man einen Vermittler in die Kontaktaufnahme mit einer wichtigen Person einschalten wollen, um so die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen, dass das eigene Anliegen überhaupt gehört wird. Allerdings ist wenig wahrscheinlich, dass eine aktive Suche nach Kontakten sich weiter erstrecken würde als auf die ›friends of friends‹, also die Kontakte zweiten oder vielleicht noch dritten Grades.

Unter alltagspraktischen Gesichtspunkten dürfte die Navigierbarkeit von Kontaktnetzwerken über ein bis zwei Kontakte hinaus deshalb nur von begrenztem Interesse sein. Doch sollte man sich vom Forschungsdesign der Studien nicht dazu verleiten lassen, die Relevanz von Netzwerken auf die Perspektive des potentiellen *Senders* einer Nachricht zu reduzieren. Wichtig ist vielmehr, wie die Corona-Pandemie deutlich zeigt, dass globale Erreichbarkeit es wahrscheinlich macht, dass jeder Kontakt über relativ wenige Zwischenschritte – mitunter unvorhergesehen und ungewollt – zum *Empfänger* werden kann. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für Diffusionsprozesse, die ein klassischer Gegenstand der Netzwerkforschung sind. Erreichbarkeit bedeutet, dass nicht nur erwünschte Übermittlungen stattfinden, sondern zum Beispiel auch die Verbreitung von Infektionskrankheiten.

SOZIALE NETZWERKE UND RISKANTE KONTAKTE

Die Ausbreitung der Corona-Pandemie weist Merkmale auf, die zur Struktur von ›Small world‹-Netzwerken passen. Sie ist gekennzeichnet durch regionale Hotspots auf der einen und die relativ zügige Diffusion über große Distanzen auf der anderen Seite. Es liegt also die Vermutung nahe, dass das globale, aber selektive Infektionsgeschehen mit teilweise weit voneinander entfernten Hotspots mit bestehenden persönlichen Netzwerken zusammenhängt. Ein Team der *Stern School of Business* an der *New York University* hat diesen Zusammenhang anhand seit kurzem verfügbarer Daten zur geographischen Verteilung der Freundschaftsbeziehungen auf Facebook genauer untersucht.⁸ Im Rahmen des Projekts ›Data for Good‹ stellt das Unternehmen einen ›Social Connectedness Index‹ (SCI) zur Verfügung, der die Stärke der sozialen Verbindung zwischen zwei Orten auf der Basis von Facebook-Freundschaften ermittelt.⁹ So lässt sich feststellen, mit welchen anderen Orten Facebook-Mitglieder einer Stadt in Kontakt stehen.

Bilden die über Facebook feststellbaren Verbindungen das Infektionsgeschehen ab – und könnten Sie umgekehrt auch genutzt werden, es vorherzusagen? Um diese Frage zu beantworten, verglichen die Forscher die Daten des SCI zu zwei Hotspots in den Vereinigten Staaten und Italien mit der geographischen Ausbreitung der Corona-Pandemie. Der amerikanische Landkreis Westchester County und die italienische Provinz Lodi gehörten in beiden Ländern zu den Orten, an denen die Infektionszahlen im März 2020 besonders schnell anstiegen. Die sozialen Kontakte der Bewohner, die auf Facebook registriert sind, konzentrieren sich auf die jeweilige Region und liegen damit in den stark betroffenen Gebieten im Bundesstaat New York beziehungsweise in der Lombardei. Daneben zeigen die Daten des SCI für Westchester County einen hohen Anteil an Beziehungen mit entfernteren Regionen, die hohe Infektionszahlen verzeichneten: nach Florida (zu den Urlaubsgebieten in der Nähe Miamis) und nach Colorado (zu den dortigen Skigebieten). In Lodi zeigt sich ein ähnliches Muster: Hier fallen außer Kontakten innerhalb der Region jene nach Rimini an der Adriaküste und in den Süden Italiens auf, wo die Infektionszahlen ebenfalls relativ hoch waren.

Diese Zusammenhänge sagen natürlich nichts darüber aus, ob und wie Infektionen tatsächlich stattgefunden haben. Sie weisen aber darauf hin, dass die zum Teil sprunghafte Ausbreitung von einem Hotspot zu einem anderen nicht zufällig erfolgt, sondern entlang bestehender persönlicher Netzwerke und in Abhängigkeit von den mit ihnen verknüpften Mobilitätsmustern. Ein direkter Kausalzusammenhang ist schon deshalb nicht gegeben, weil die Infektion mit SARS-CoV-2 eine Begegnung voraussetzt, die durch Online-Kontakte allenfalls wahrscheinlicher wird. Soziale Beziehungen auf Netzwerkplattformen sind kein Abbild der persönlichen Netzwerke der Nutzerinnen und Nutzer.¹⁰ Aber sie geben Hinweise darauf, zwischen welchen Personen und Orten physische Kontakte wahrscheinlich sind. Realisiert werden diese Kontakte dann mithilfe von Transporttechnologien, die physische Kontakte zwischen ansonsten getrennten Gruppen auf unkomplizierte Weise ermöglichen: Aus epidemiologischer Sicht stehen Flugverbindungen deshalb ganz oben auf der Prioritätenliste, wenn es um die Eindämmung von Pandemien geht.

Die Ausbreitungsdynamik von SARS-CoV-2 entspricht mithin ziemlich genau dem, was man in ›Small world‹-Netzwerken erwarten würde.¹¹ Auch wenn das Virus nicht hochansteckend ist, genügen bereits wenige Shortcuts in einem Netzwerk, um eine weiträumige Ausbreitung sehr wahrscheinlich zu machen. Kleine Veränderungen der Netzwerkstruktur spielen vor allem in einem Bereich mittlerer Infektiosität eine Rolle: Wäh-

rend eine hohe Reproduktionszahl eine weitreichende Verbreitung auch unabhängig von der Netzwerkstruktur wahrscheinlich macht, ist diese bei einer niedrigen Reproduktionszahl ohnehin unwahrscheinlich. Im Bereich zwischen diesen Extremen führen kleine Änderungen der Netzwerkstruktur, insbesondere der Zahl der Shortcuts dazu, dass die Ausbreitungsdynamik schnell zunimmt. Gleichzeitig bleibt das Merkmal einer lokal erhöhten Kontaktdichte erhalten, sodass die Anfälligkeit für eine Diffusion über große Distanzen aus lokaler Perspektive häufig unterschätzt wird.

Im Zuge der Rekonstruktion von Infektionsketten der Covid-19-Pandemie ist ein weiterer Mechanismus in den Fokus gerückt: ›super-spreading events‹, wie zum Beispiel eine Karnevalssitzung in Heinsberg (Deutschland), Après-Ski in Ischgl (Österreich) oder auch eine Chorprobe in Washington (USA).¹² Solche Ereignisse multiplizieren in gewisser Weise den Effekt von Shortcuts, indem sie viele Personen in Kontakt miteinander bringen, die eine Infektion anschließend (oft unwissentlich) weitertragen. Indem sie die Kontakte aus unterschiedlichen Gruppen bündeln, werden solche Ereignisse zu Schnittstellen der Ausbreitung. Doch nicht nur Ereignisse, sondern auch Personen fungieren offensichtlich als ›Hubs‹, d.h. als Knoten mit besonders vielen Kontakten. Eine britische Studie kommt beispielsweise zu dem Ergebnis, dass 80 Prozent der sekundären Infektionen auf nur 10 Prozent der Infizierten zurückgehen.¹³ Wenn dies zutrifft, ist für die Rekonstruktion der Pandemie – und natürlich für mögliche Eindämmungsstrategien – nicht nur die Reichweite von Beziehungen von hohem Interesse, sondern auch die Verteilung und Struktur von Kontaktchancen.

Eine Möglichkeit, die Kontaktstruktur im Kontext einer Organisation zu untersuchen, zeigt eine Studie der *Cornell University* auf.¹⁴ Wer mit wem in Kontakt kommt, hängt in Universitäten ab von der Teilnahme an Vorlesungen und Seminaren, aber auch von gemeinsamen Mahlzeiten in der Mensa, Partys in den Wohnheimen und zufälligen Begegnungen. Nur ein Teil davon wird in der Studie erfasst, nämlich die Kontaktchancen der mehr als 20 000 Studentinnen und Studenten anhand ihrer Kursbelegungen. In einer Woche nimmt ein Student mit durchschnittlich 500 unterschiedlichen Kommilitonen an Präsenzveranstaltungen teil. Man kann dies als ein ›bimodales Netzwerk‹ betrachten, das aus zwei Arten von Knoten besteht: Veranstaltungen und Studenten. Beziehungen entstehen in diesem Netzwerk durch die gemeinsame Teilnahme an Veranstaltungen. Insbesondere große Vorlesungen werden dadurch zu ›Hubs‹ im Netzwerk, über die zahlreiche Verknüpfungen laufen. In der Summe führt dies dazu,

dass die durchschnittliche Distanz zwischen zwei Studierenden in diesem Netzwerk sehr gering ist: Sie liegt bei 2,5 – und somit ist jede Studentin von jedem Studenten im Durchschnitt nur 1,5 Kurse entfernt. Das bedeutet: Auch wenn zwei beliebige Studenten nicht denselben Kurs besuchen, ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass sie Seminare und Vorlesungen mit einem dritten Studenten teilen.

Es handelt sich beim studentischen Netzwerk folglich um ein ›Small world‹-Netzwerk, in dem ein hochansteckendes Virus von einem beliebigen Knoten aus jeden anderen Knoten auf kurzem Wege erreichen kann: Über 90 Prozent der Studenten sind nur drei Schritte voneinander entfernt, und im Bereich der Undergraduates, die besonders viele große Veranstaltungen besuchen, liegt dieser Wert sogar bei fast 100 Prozent. Natürlich bedeutet nicht jede gemeinsame Kursbelegung eine Ansteckung: In einem großen Raum kann der Abstand zu anderen Teilnehmern ausreichend groß sein, um diese zu verhindern. Mit anderen in einem Seminar oder in einer Vorlesung zu sitzen, erhöht zwar die Chance, mit ihnen Kontakt zu haben – doch dieser kann sich auf Kommunikation beschränken. Und selbst diese setzt voraus, dass die anderen überhaupt anwesend sind. Doch auch wenn man diese Einschränkungen berücksichtigt, bietet die ›kleine Welt‹ der Universität nicht nur günstige Bedingungen für neue Kontakte, sondern auch für die Ausbreitung von Infektionen.

ANALYSE, PROGNOSE UND PRÄVENTION

In empirischen Studien und in Computersimulationen gewonnene Erkenntnisse über die Topologien sozialer Netzwerke können helfen, den Verlauf der Covid-19-Pandemie besser zu verstehen. Durch die Identifizierung von Strukturen und Mechanismen leisten diese Modelle einen Beitrag dazu, das Infektionsgeschehen zu erklären. Die Anwendung der Netzwerkanalyse in epidemiologischen Modellen hat mit dazu beigetragen, dass eine Pandemie dieses Ausmaßes im Grunde erwartet werden konnte. Das geht allerdings nicht so weit, dass sie konkret hätte vorhergesagt werden können: Bereits kleinste Veränderungen gegenüber den Ausgangsparametern führen zu deutlich von den Prognosen abweichenden Verläufen.¹⁵ Die Genauigkeit der Prognose wird auch dadurch eingeschränkt, dass die Modelle üblicherweise mit allgemeinen Annahmen über die Struktur sozialer Netzwerke arbeiten, aber nicht mit empirischen Netzwerkdaten, die für ganze Populationen kaum verfügbar sind.

Für Netzwerke, deren Struktur bekannt ist, lassen sich die Interventionen zur Infektionsbekämpfung besser beurteilen. In Universitäten ist es zum Beispiel naheliegend, auf große Vorlesungen zu verzichten und diese online durchzuführen. Sie haben nicht nur viele Teilnehmer, sondern versammeln auch heterogene Gruppen, zum Beispiel aus unterschiedlichen Disziplinen. Was verändert sich, wenn man alle Veranstaltungen mit mehr als 100 Teilnehmern aus dem Netzwerk entfernt? Laut der Studie der *Cornell University* nicht sehr viel: Die durchschnittliche Distanz im Netzwerk erhöht sich zum Beispiel auf knapp unter drei Zwischenschritte. Nimmt man 30 Teilnehmer als Schellenwert, steigt sie bereits auf 3,75. Aber damit sind immer noch mehr als die Hälfte der Studierenden über vier Schritte oder weniger miteinander verbunden. Um die Diffusion entscheidend zu reduzieren, müssten nicht nur *kleinere*, sondern vor allem *mehr* Kurse angeboten werden. Erst wenn ihre Zahl etwa gleich hoch ist wie die Zahl der Kurse, die im Durchschnitt belegt werden, sinkt die Kontaktwahrscheinlichkeit deutlich.

Für die Entscheidung über Präventionsmaßnahmen sind Analysen der Netzwerkstruktur anhand aussagekräftiger Daten von großer Bedeutung: Sie geben Hinweise auf wichtige Glieder der Infektionsketten, zum Beispiel auf Beziehungen und Bewegungen, die verschiedene Cluster miteinander verbinden, sowie auf zentrale Knoten und Ereignisse, die sich durch eine starke Bündelung von Kontakten auszeichnen. Diese Erkenntnisse machen zugleich verständlich, warum es nur selten gelang, die Ausbreitung von SARS-CoV-2 durch frühzeitige Intervention aufzuhalten: Wenige Beziehungen – und damit auch mehr oder weniger zufällige Kontakte – reichen aus, um den Pandemieverlauf entscheidend zu beeinflussen und zu beschleunigen. Deshalb ist die Mikrodynamik der Kontakte, die üblicherweise nicht im Fokus der Netzwerkforschung steht, von höchster Bedeutung: Das letzte Glied der Infektionskette ist stets die Übertragung, deren Chance durch physische Barrieren und Distanz minimiert werden kann. Die Struktur sozialer Netzwerke lässt sich nicht einfach verändern. Aber von der Gestaltung des Kontaktes hängt ab, ob man nur für Kommunikationen oder auch für Infektionen erreichbar ist.