

Physik der sozio-ökonomischen Systeme *mit dem Computer*

*JOHANN WOLFGANG GOETHE UNIVERSITÄT
15.01.2020*

MATTHIAS HANAUSKE

*FRANKFURT INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES
JOHANN WOLFGANG GOETHE UNIVERSITÄT
INSTITUT FÜR THEORETISCHE PHYSIK
ARBEITSGRUPPE RELATIVISTISCHE ASTROPHYSIK
D-60438 FRANKFURT AM MAIN
GERMANY*

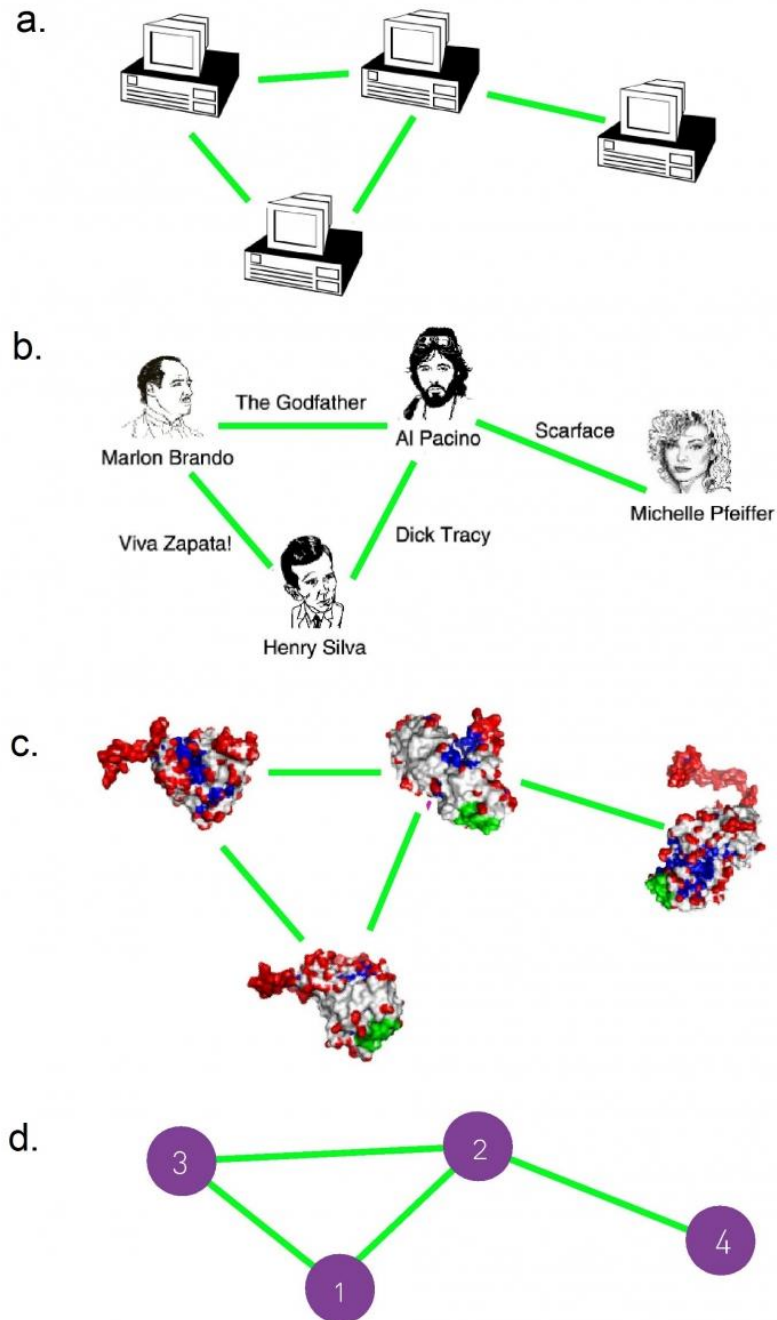
8. Vorlesung

Aufgrund der Corona Krise findet die Vorlesung und die freiwilligen Übungstermine in diesem Semester nur Online statt.

Plan für die heutige Vorlesung

- Kurze Wiederholung der Theorie der komplexen Netzwerke
- Ausbreitung eines Virus auf einem komplexen Netzwerk
 - Einführung in die Epidemiologie
 - Das deterministische SIR Modell
 - Simulationsbasierte Ansätze
- Evolutionäre Spieltheorie auf komplexen Netzwerken
- Vorlesungsprojekte

Komplexe Netzwerke Knoten und Kanten



Different Networks, Same Graph

The figure shows a small subset of (a) the Internet, where routers (specialized computers) are connected to each other; (b) the Hollywood actor network, where two actors are connected if they played in the same movie; (c) a protein-protein interaction network, where two proteins are connected if there is experimental evidence that they can bind to each other in the cell. While the nature of the nodes and the links differs, these networks have the same graph representation, consisting of $N = 4$ nodes and $L = 4$ links, shown in (d).

Abbildung entnommen von:

Network Science by Albert-László Barabási

<http://networksciencebook.com/>

Viele der im Teil 2 behandelten Themen sind in diesem Buch ausführlich behandelt.

Netzwerke in der Realität

Netzwerke finden sich in den unterschiedlichsten sozialen, physikalischen und biologischen Systemen

- **Biologische Netzwerke**
 - Protein- und Gennetzwerke
- **Soziale Netzwerke**
 - Beziehungs- und Freundschaftsnetzwerke
 - Netzwerke von Geschäftsbeziehungen und Firmenbeteiligungen
 - Internetbasierte, soziale Web2.0 Netzwerke
- **Technologische Netzwerke**
 - Transportnetzwerke (Flug-, Zugrouten)
 - Internetverbindungen zwischen Computerservern
- **Informationsnetzwerke**
 - Wissensnetzwerke, Verlinkungen von Internetseiten
 - Zitationsnetzwerke von wissenschaftlichen Artikeln
 - Linguistische Netzwerke

Theorie der komplexen Netzwerke (III)

(Beispiele unterschiedlicher komplexer Netzwerke)

- a) Nicht gerichtetes und ungewichtetes Netzwerk einer einzigen Knotenart.
- b) Nicht gerichtetes und ungewichtetes Netzwerk dreier verschiedener Knotenarten, wobei zusätzlich drei verschiedene Kantenarten existieren.
- c) Nicht gerichtetes aber gewichtetes Netzwerk. Sowohl die Knoten als auch die Kanten des Netzwerks besitzen zahlenmäßige Gewichtungen.
- d) Gerichtetes aber nicht gewichtetes Netzwerk. Es existiert nur eine Knoten- und gerichtete Kantenart.

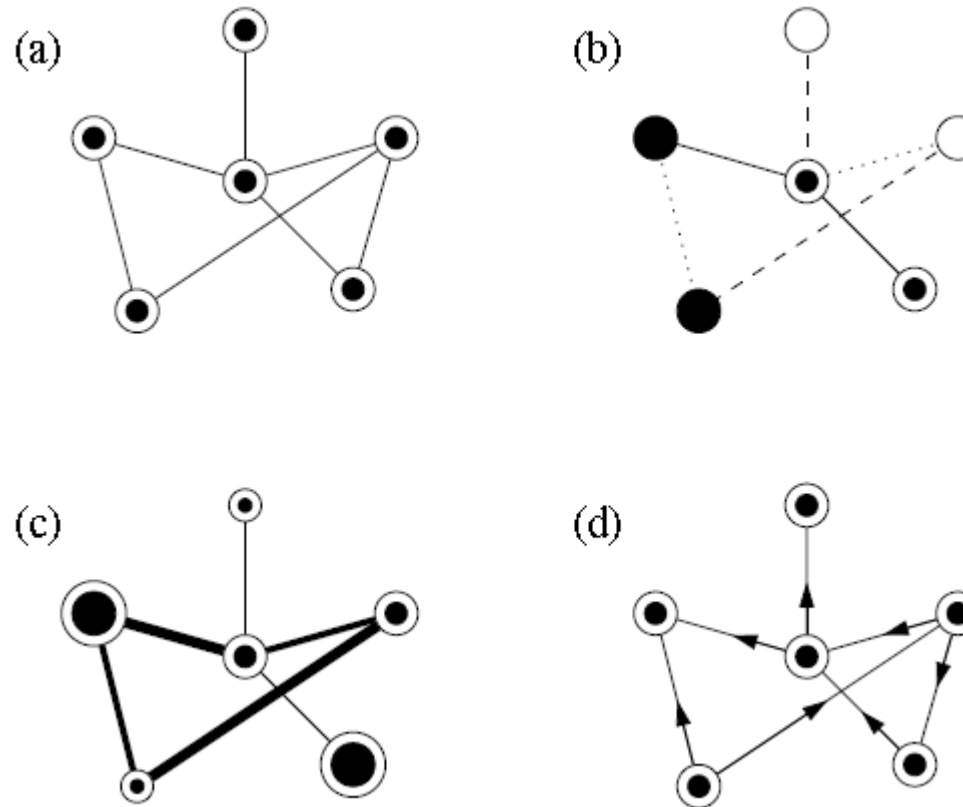


Abbildung: Unterschiedliche Netzwerktypen
Die Abbildung ist dem folgenden Artikel entnommen:
M. E. J. Newman,
„The structure and function of complex networks”

The Structure and Function of Complex Networks*

M. E. J. Newman[†]

Netzwerkstrukturen in unterschiedlichsten Systemen

	Network	Type	n	m
Social	film actors	undirected	449 913	25 516 482
	company directors	undirected	7 673	55 392
	math coauthorship	undirected	253 339	496 489
	physics coauthorship	undirected	52 909	245 300
	biology coauthorship	undirected	1 520 251	11 803 064
	telephone call graph	undirected	47 000 000	80 000 000
	email messages	directed	59 912	86 300
	email address books	directed	16 881	57 029
	student relationships	undirected	573	477
	sexual contacts	undirected	2 810	
Information	WWW nd.edu	directed	269 504	1 497 135
	WWW Altavista	directed	203 549 046	2 130 000 000
	citation network	directed	783 339	6 716 198
	Roget's Thesaurus	directed	1 022	5 103
	word co-occurrence	undirected	460 902	17 000 000
Technological	Internet	undirected	10 697	31 992
	power grid	undirected	4 941	6 594
	train routes	undirected	587	19 603
	software packages	directed	1 439	1 723
	software classes	directed	1 377	2 213
	electronic circuits	undirected	24 097	53 248
	peer-to-peer network	undirected	880	1 296
Biological	metabolic network	undirected	765	3 686
	protein interactions	undirected	2 115	2 240
	marine food web	directed	135	598
	freshwater food web	directed	92	997
	neural network	directed	307	2 359

Netzwerk-Klassen

Aufgrund ihrer unterschiedlichen Eigenschaften unterscheidet man die folgenden Netzwerk-Klassen:

i. Zufällige Netzwerke

Die einzelnen Kanten bei *zufälligen Netzwerke* werden von den Knoten (Spielern) nach einem rein zufälligen Muster ausgewählt.

ii. „Kleine Welt“-Netzwerke (small-world networks)

- i. „Kleine Welt“-Netzwerke zeichnen sich durch einen kleinen Wert der durchschnittlichen kürzesten Verbindung zwischen den Knoten des Netzwerkes und einem großen Wert des Clusterkoeffizienten aus.

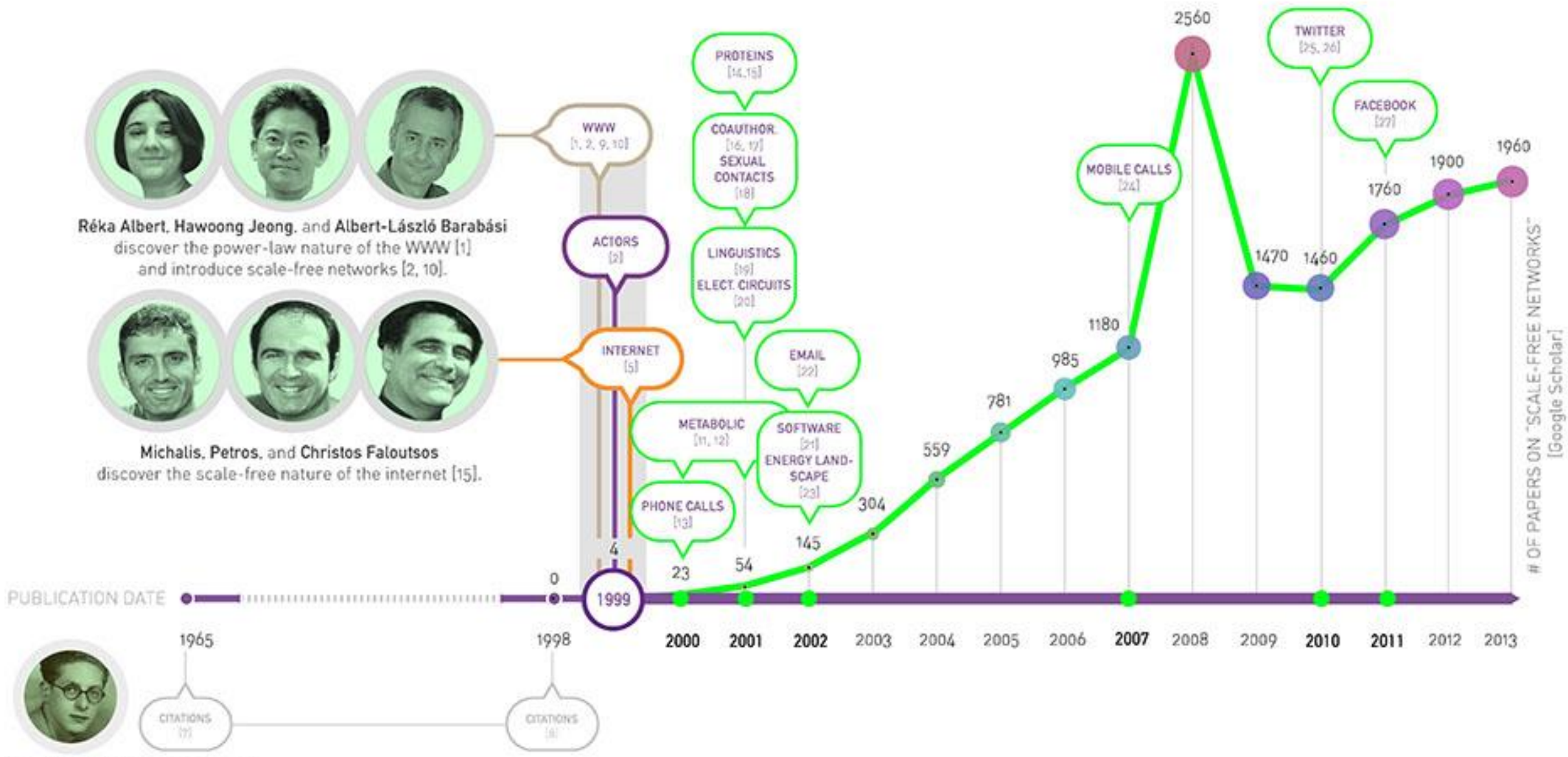
iii. Exponentielle Netzwerke

iv. Skalenfreie Netzwerke

Konstruktion eines Skalenfreien Netzwerks

Das im folgenden konstruierte skalenfreie Netzwerk besitzt zwei wesentliche Eigenschaften:

- Zeitliches Anwachsen der Knoten
- Die Kantenwahl eines neu in das Netzwerk hinzukommenden Knotens erfolgt nach dem Prinzip des „Preferential Attachment“ (Die Knoten die schon viele Kanten haben bekommen mit einer höheren Wahrscheinlichkeit eine neue Kante, als die Knoten die bisher keinen, oder wenige Kanten aufweisen können)



Réka Albert, Hawoong Jeong, and Albert-László Barabási
discover the power-law nature of the WWW [1]
and introduce scale-free networks [2, 10].

Michalis, Petros, and Christos Faloutsos
discover the scale-free nature of the internet [15].

Derek de Solla Price (1922 - 1983)
discovers that citations follow a power-law
distribution [7], a finding later attributed to the
scale-free nature of the citation network [2].

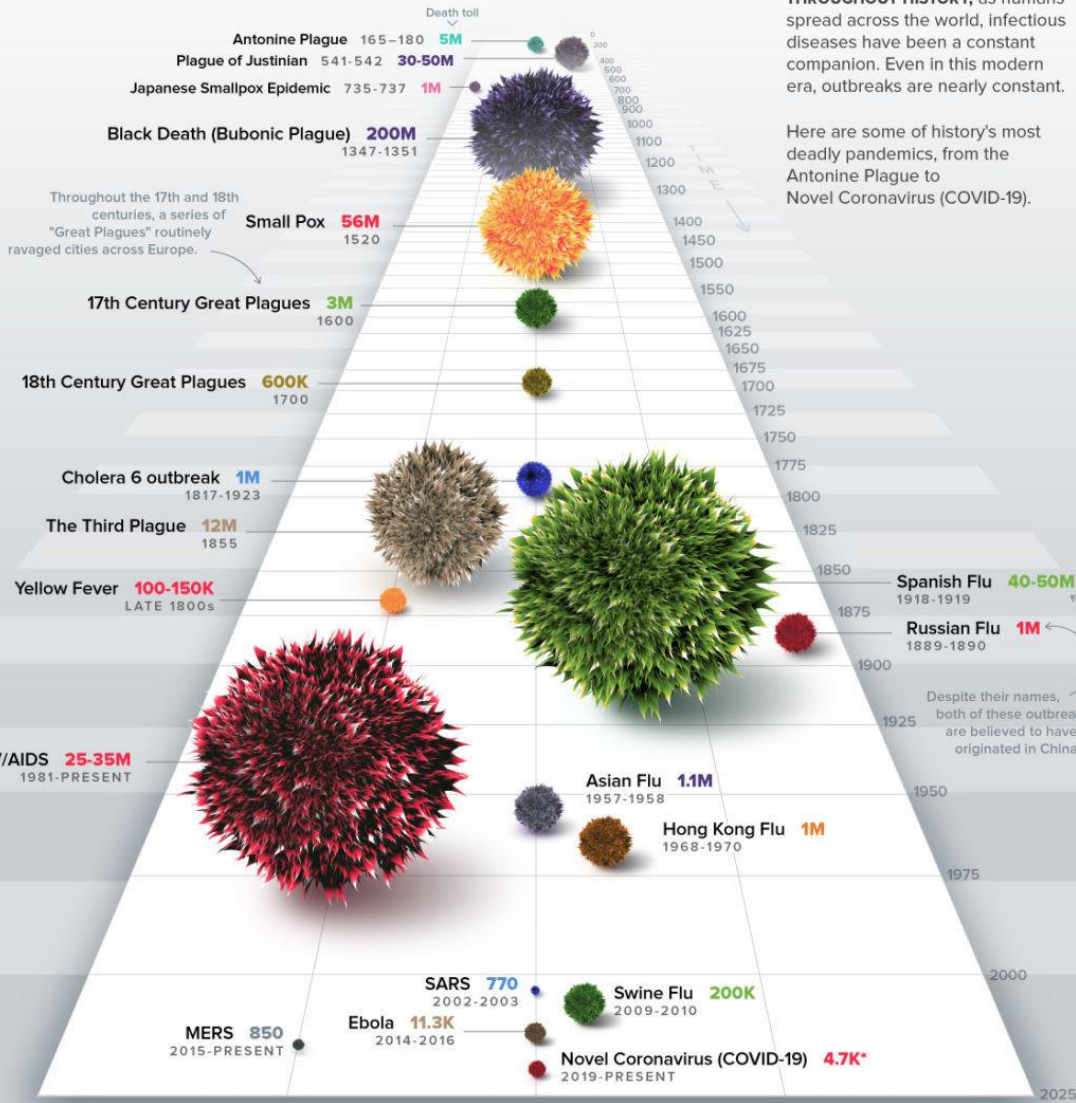
Skalenfreie Netzwerke auch in vielen weiteren
sozio-ökonomischen und biologischen Systemen

HISTORY OF PANDEMICS

PAN-DEM-IC (of a disease) prevalent over a whole country or the world.

THROUGHOUT HISTORY, as humans spread across the world, infectious diseases have been a constant companion. Even in this modern era, outbreaks are nearly constant.

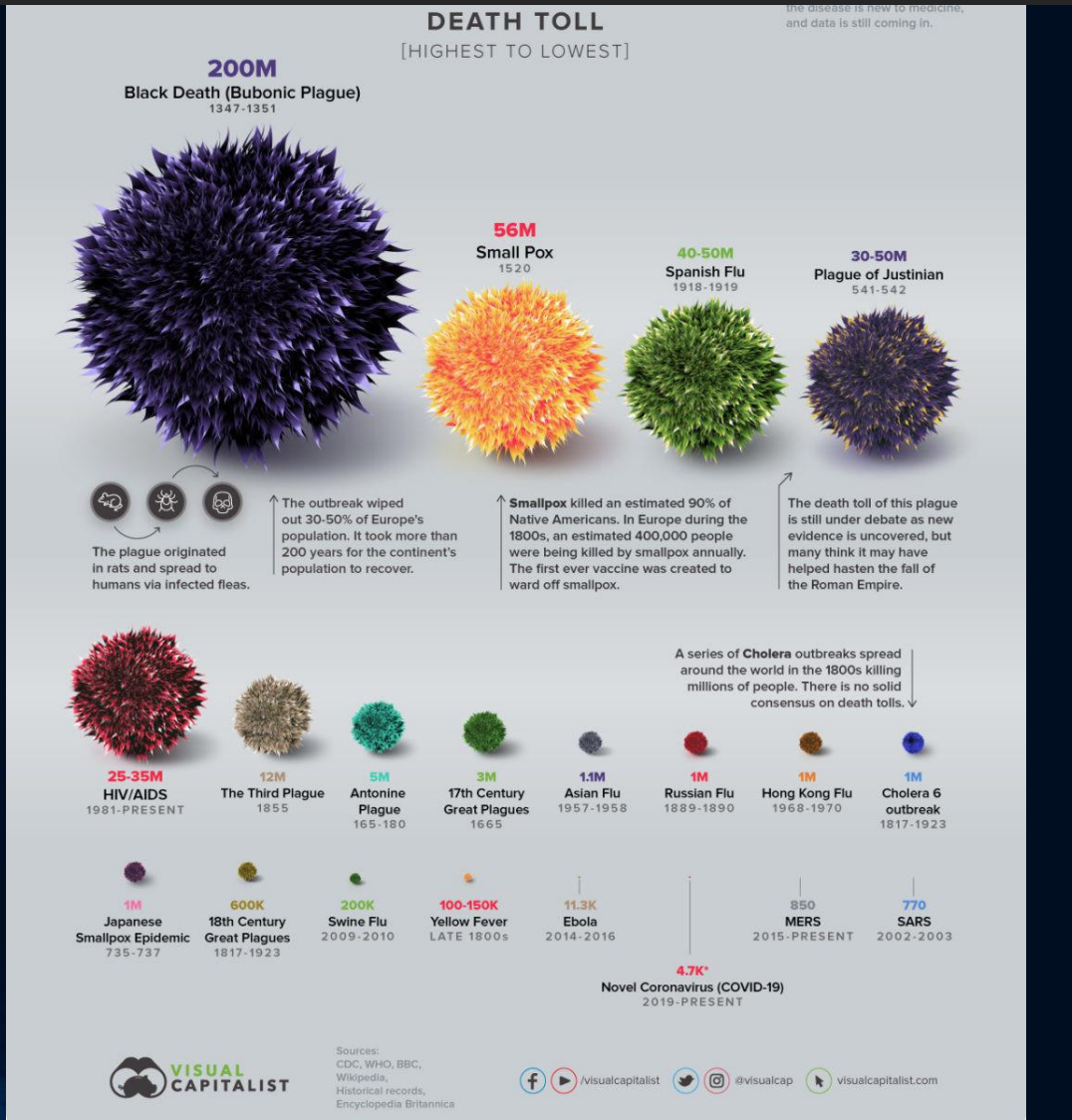
Here are some of history's most deadly pandemics, from the Antonine Plague to Novel Coronavirus (COVID-19).



DEATH TOLL

*As of Mar 11, officially a pandemic according to WHO
It is hard to calculate and forecast the impact of COVID-19 because the disease is new to medicine, and data is still coming in.

Ausbreitung eines Virus auf einem komplexen Netzwerk Die Geschichte der Pandemien



OUTBREAK

DEADLIEST PANDEMICS IN HISTORY

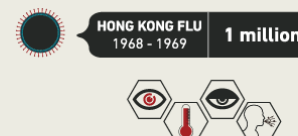
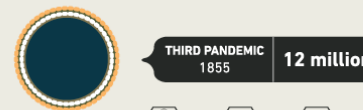
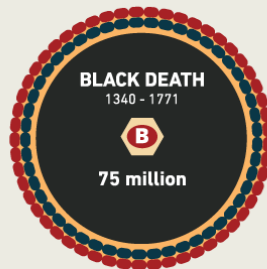
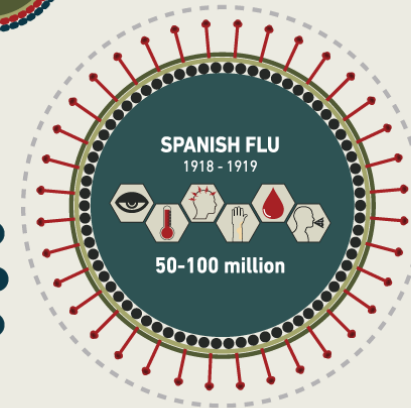
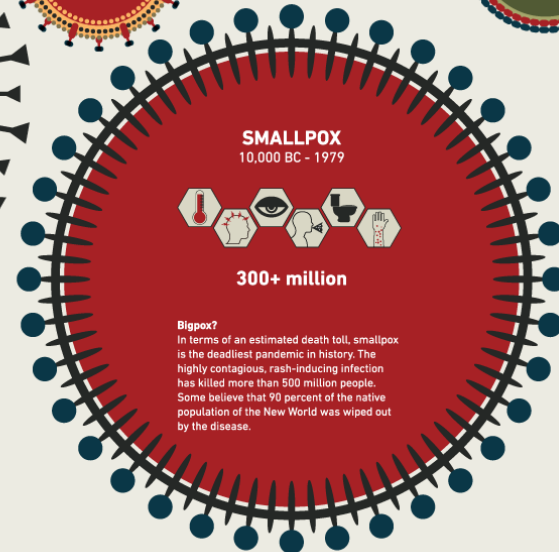
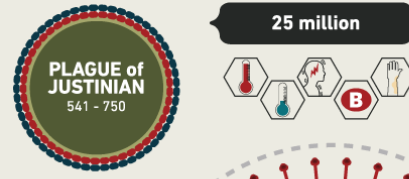
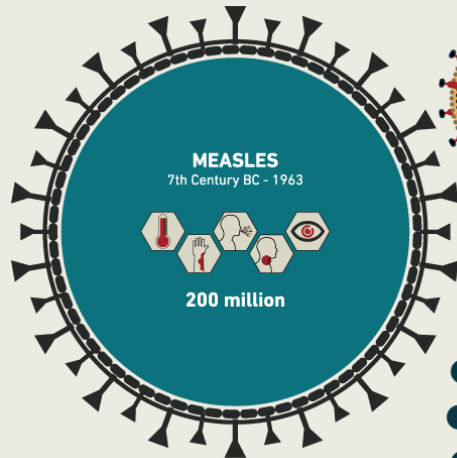
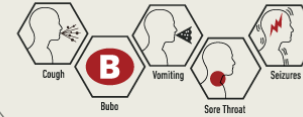
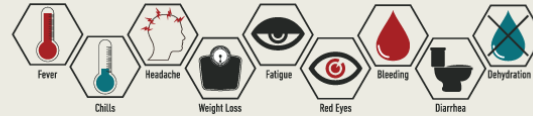
Because a virus doesn't care about state lines or national borders, it can wipe out millions and span multiple continents rapidly. Here is a look at the infectious diseases the world has battled throughout history.

What is a Pandemic?

Derived from the Greek word *panemos* meaning "pertaining to all people," a pandemic is a widespread disease that affects humans over a wide geographic area.

Key:

PANDEMIC YEAR DEATH TOLL



Ring Around the Rosie, a Pocket Full of Plague
Legend says the Black Death plague inspired the children's rhyme "Ring Around The Rosy," which alluded to the rash-like rings and ashes of the deceased victims.

Honorable Mentions

Although the following viruses do not have a figure for total amount of lives claimed, they continue to terrorize various areas around the world.

MALARIA 1600 - Today

Common Symptoms

Chills, Headache, Fever, Jaundice, Muscle Pain, Nausea, Vomiting, Seizures

Death Toll

According to the World Health Organization's 2010 "World Malaria Report," an estimated 781,000 people are killed by the virus every year.

TUBERCULOSIS 700 BC - Today

Common Symptoms

Chest Pain, Cough, Fever, Chills, Fatigue

Death Toll

There are almost 2 million tuberculosis-related deaths worldwide every year.

YELLOW FEVER 16th Century - Today

Common Symptoms

Bleeding, Fever, Nausea, Vomiting, Delirium, Seizures, Jaundice

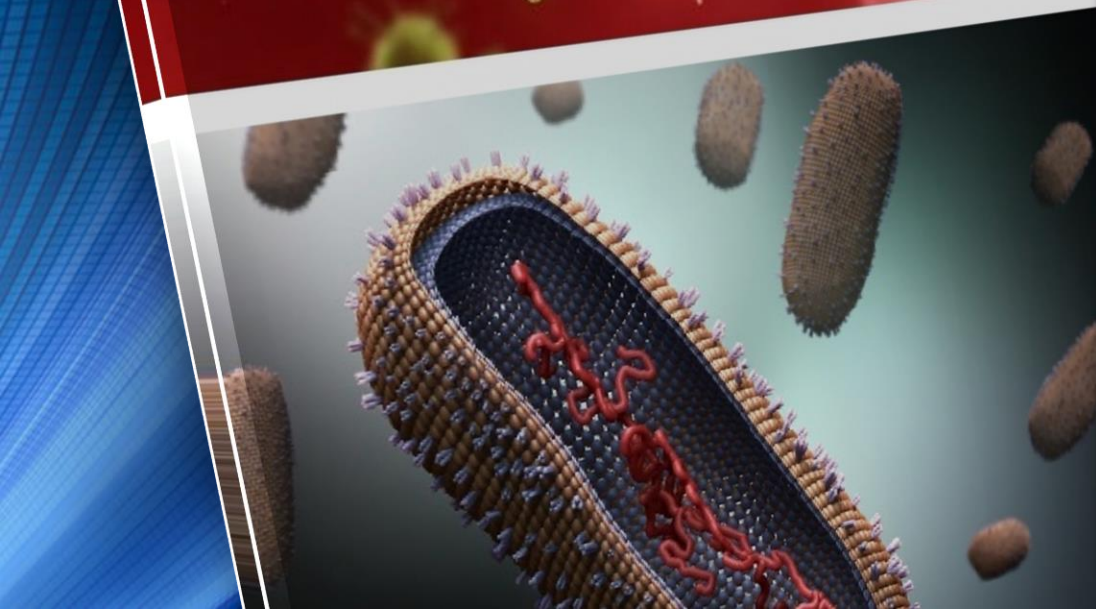
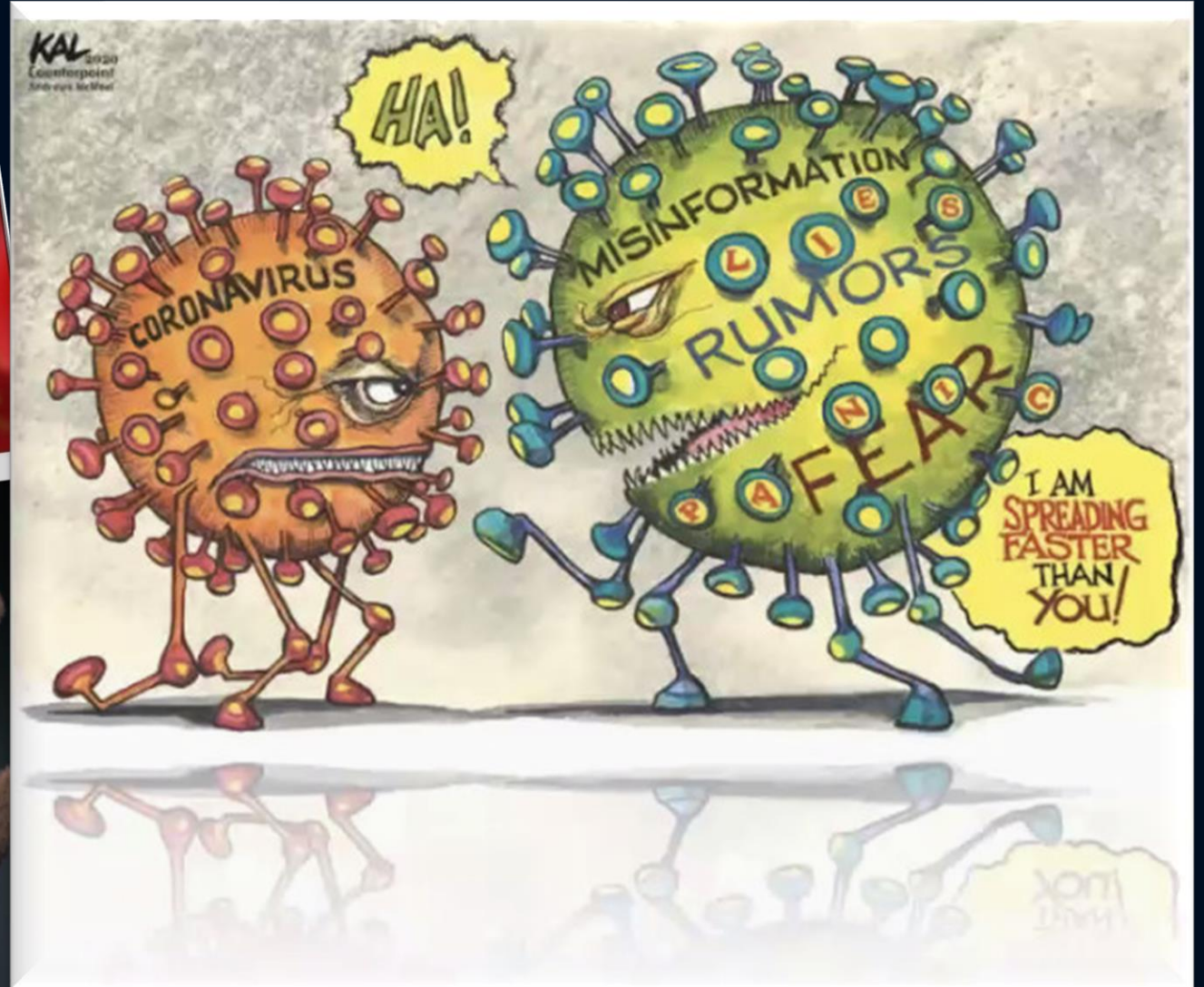
Death Toll

Worldwide, 30,000 deaths are caused by the infection every year.



Ausbreitung auf dem Kontakt-Netzwerk von Personen

Ausbreitung auf dem zugrundeliegenden Netzwerk Informationsnetzwerk



Allgemein: Ausbreitungsphänomene auf komplexen Netzwerken

Phenomena	Agent	Network
Venereal Disease	Pathogens	Sexual Network
Rumor Spreading	Information, Memes	Communication Network
Diffusion of Innovations	Ideas, Knowledge	Communication Network
Computer Viruses	Malwares, Digital viruses	Internet
Mobile Phone Virus	Mobile Viruses	Social Network/Proximity Network
Bedbugs	Parasitic Insects	Hotel - Traveler Network
Malaria	Plasmodium	Mosquito - Human network

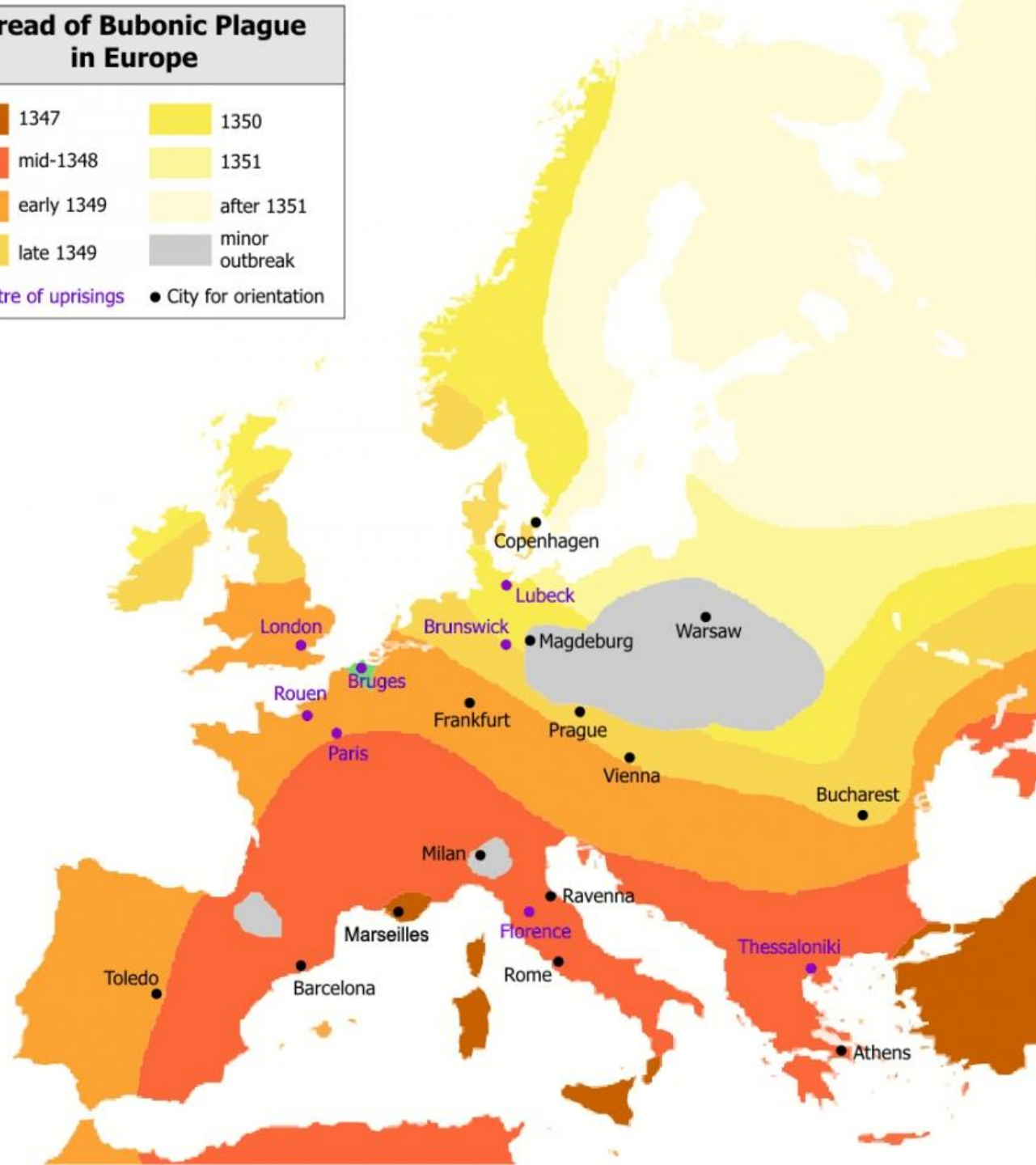
Table 10.1

Networks and Agents

The spread of a pathogen, a meme or a computer virus is determined by the network on which the agent spreads and the transmission mechanism of the responsible agent. The table lists several much studied spreading phenomena, together with the nature of the particular spreading agent and the network on which the agent spreads.

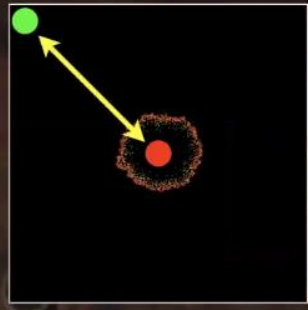
Spread of Bubonic Plague in Europe

- 1347
- mid-1348
- early 1349
- late 1349
- 1350
- 1351
- after 1351
- minor outbreak
- Centre of uprisings
- City for orientation

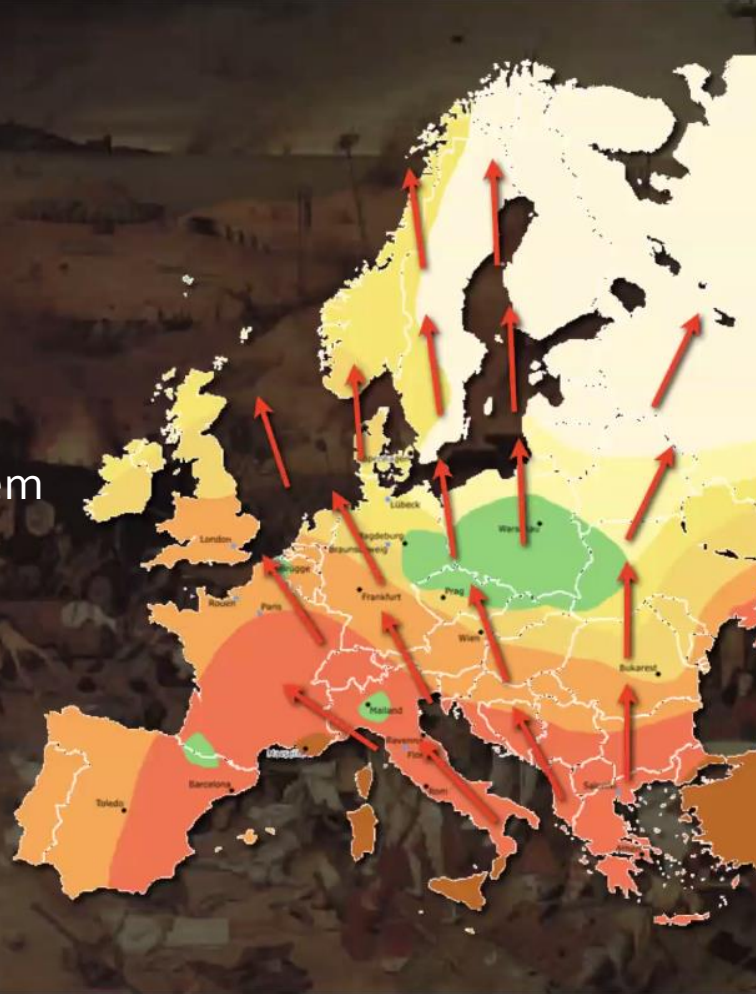


Ausbreitung der Beulenpest in den Jahren 1347-1351

Zoom Meeting
Streaming Service You are viewing dirk's screen View Options



Ausbreitung auf einem räumlichen Gitter-Netzwerk



Viren und Epidemien aus Sicht der Mathematik

Ringvorlesung
im Rahmen der
Frankfurter Bürgeruniversität

online
ringvorlesung.math.
uni-frankfurt.de

Zeit
Jeweils dienstags,
18:00 Uhr



17. November 2020
Prof. Dr. Dirk Brockmann
RKI und HU Berlin

Pandemien und ihre Ausbreitung

01. Dezember 2020
Prof. Dr. Tom Britton
Universität Stockholm

**Mathematical models for epidemics
like COVID-19**

19. Januar 2021
Prof. Dr. Tanja Stadler
ETH Zürich

**Molekulare Epidemiologie:
Von Genomen, Statistik und Bioinformatik
zur Beurteilung der momentanen COVID-19 Situation**

09. Februar 2021
Dr. Viola Priesemann
MPI für Dynamik und Selbstorganisation, Göttingen
**Die Ausbreitung von SARS-CoV-2
abschätzen, vorhersagen und eindämmen**



Veranstalter: Verein zur Förderung der Mathematik und Institut für Mathematik, Goethe-Universität

Ringvorlesung

„VIREN UND EPIDEMIEN AUS SICHT DER MATHEMATIK“

1. Vortrag:

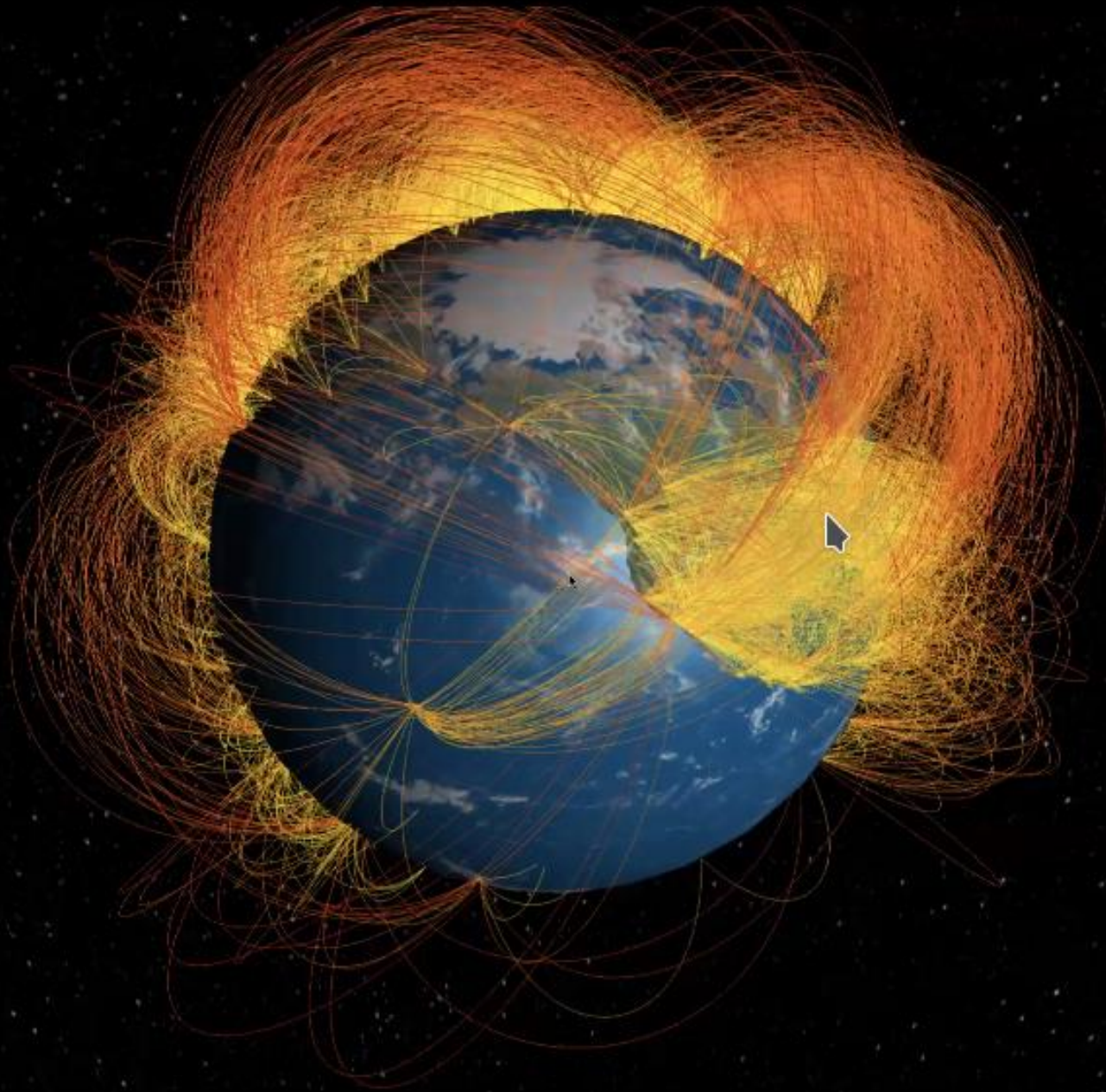
Prof. Dr. Dirk Brockmann
RKI und HU Berlin

„*Pandemien und ihre Ausbreitung*“

Verein zur Förderung der Mathematik
www.mathe-uni-ffm.de



Pandemien und ihre Ausbreitung



Webinar is now streaming live on Custom Live Streaming Service



4000 airports

51000 connections

3 billion passengers

14 billion km/day

global mobility



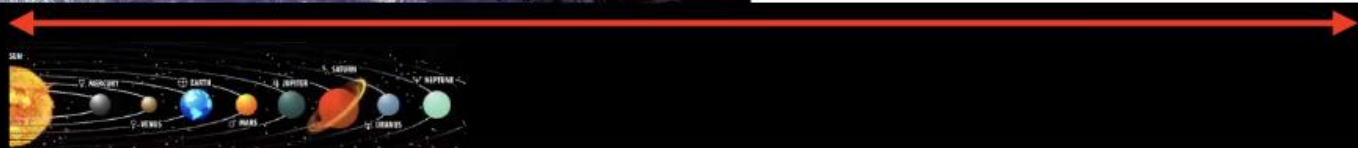
dirk



Webinar is now streaming live on Custom Live Streaming Service



4000 airports



1 billion km



14 billion km/day

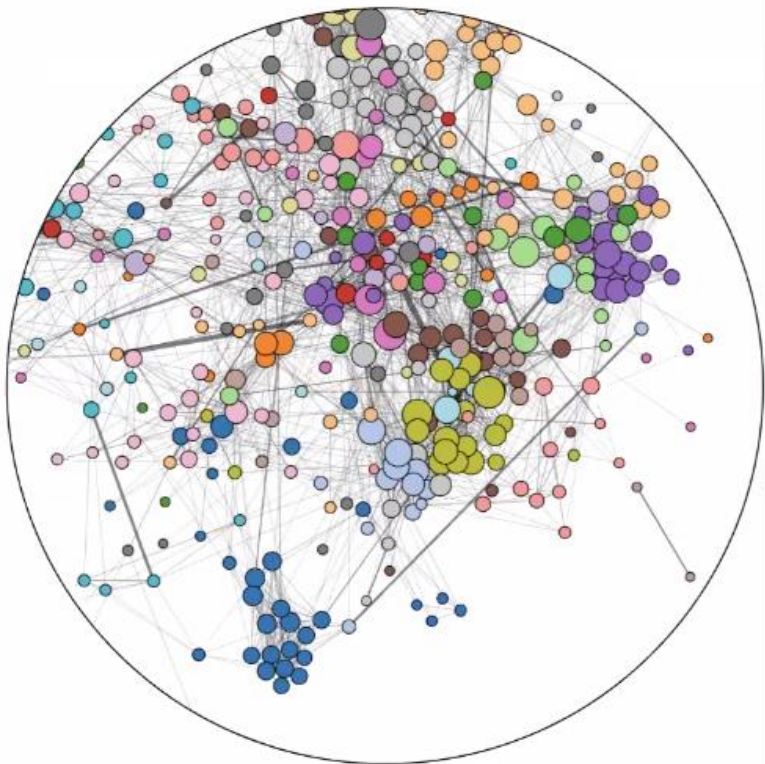
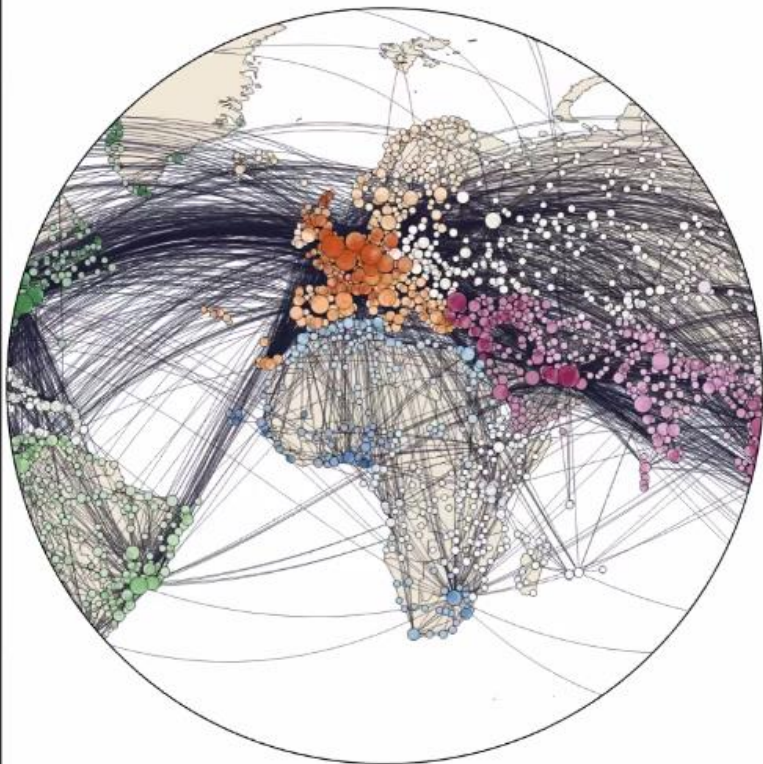
global mobility

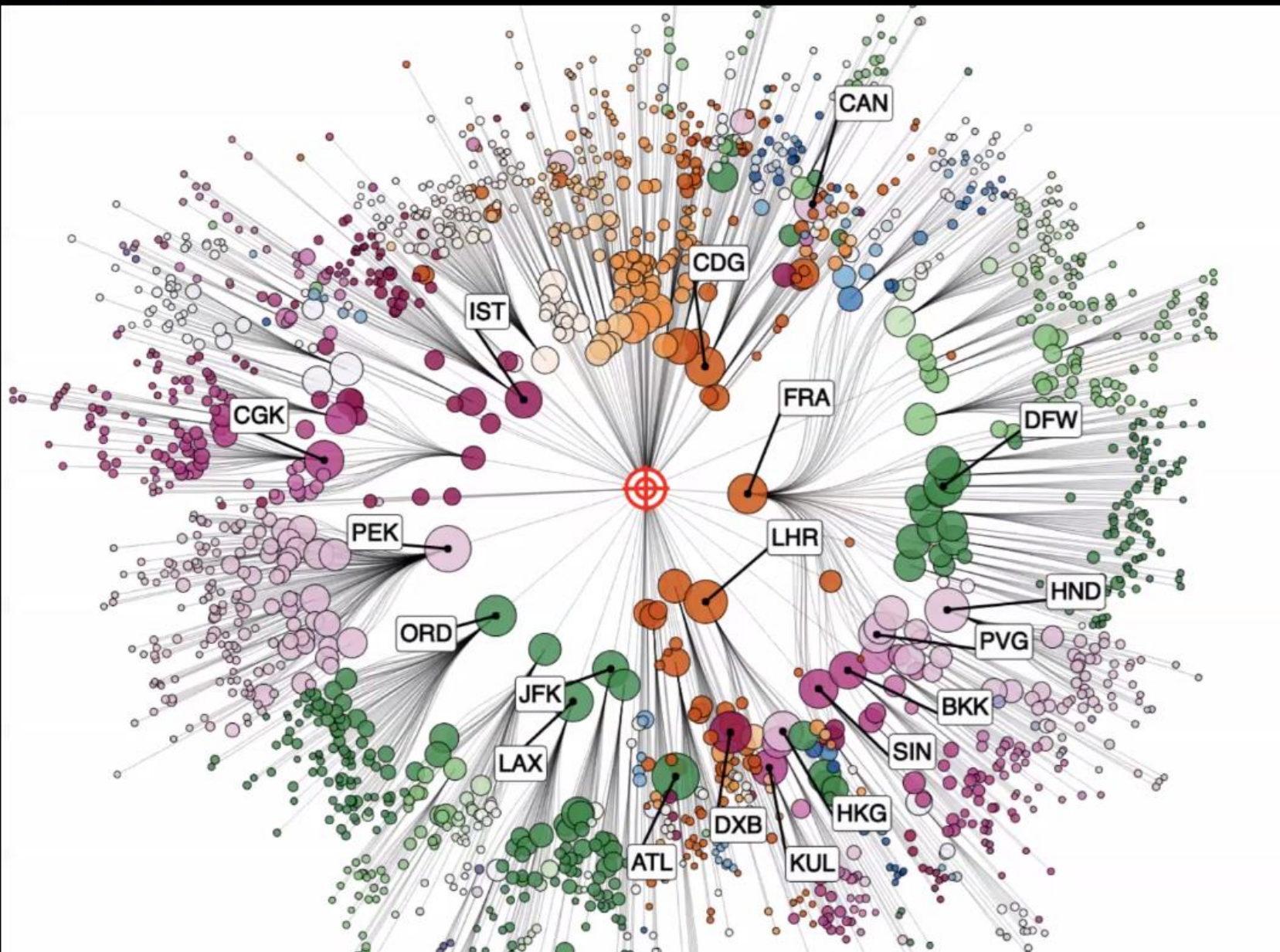


dirk

Webinar is now streaming live on Custom Live Streaming Service

Networks in Epidemiology





Wuhan
China

Research on Complex Systems, Brockmann Lab

<http://rocs.hu-berlin.de>



Das skalenfreie Flugrouten-Netzwerk

Die zugrundeliegende Netzwerk Topologie ist bei der Ausbreitung eines Krankheitserregers von entscheidender Bedeutung.

Die nebenstehende Abbildung zeigt die Verteilungsfunktion der Knotengrade des internationalen Flugrouten-Netzwerkes, wobei die Knoten des Netzwerkes die weltweit größten Flughäfen darstellen ($N=3100$) und die gerichteten und gewichteten Kanten 17182 direkte Flugrouten darstellen (Jahr 2002).

Die Verteilungsfunktion zeigt in einem großen Bereich ein skalenfreies Verhalten.

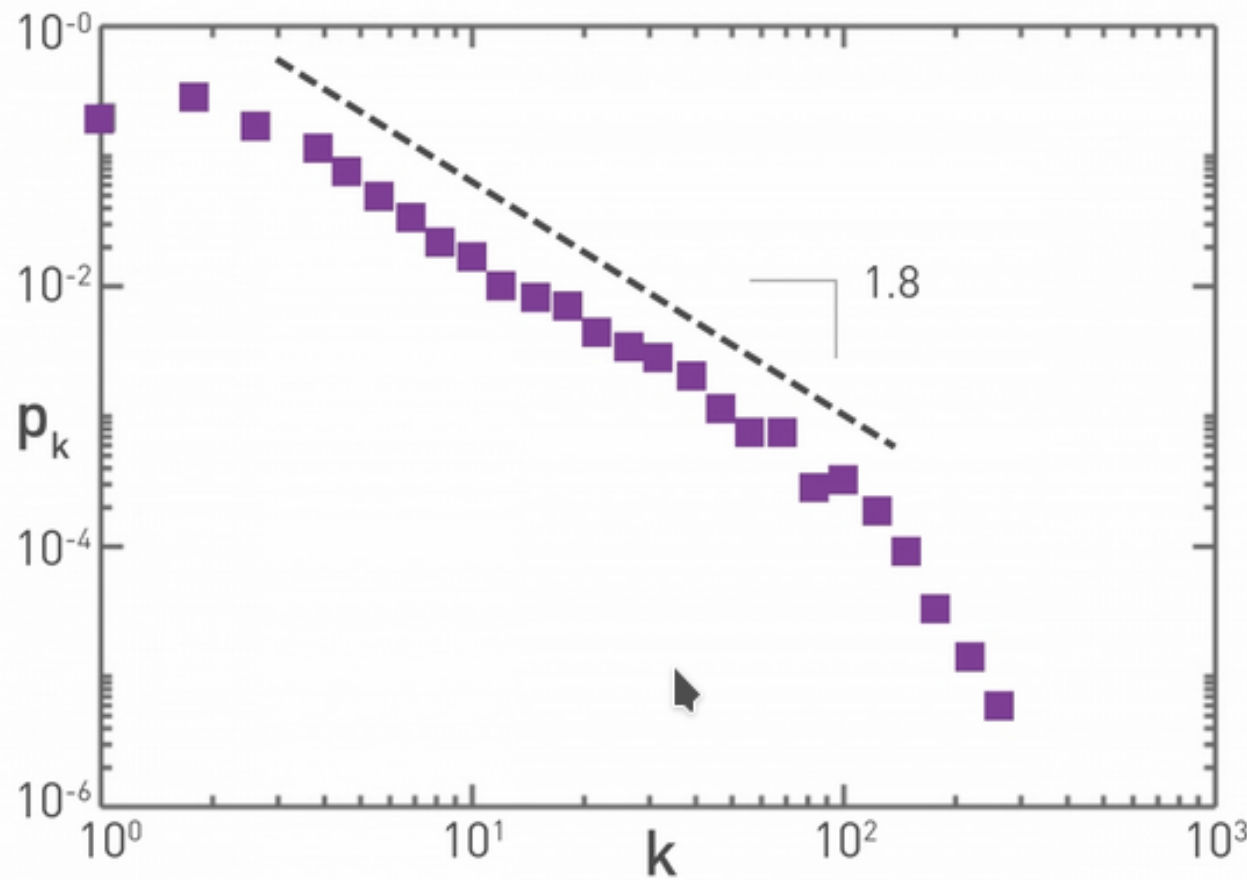


Image 10.15

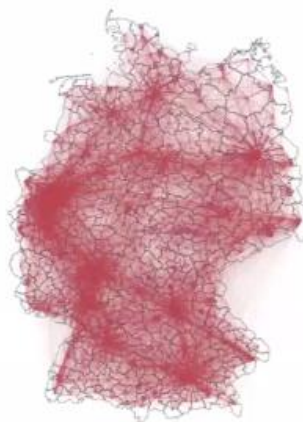
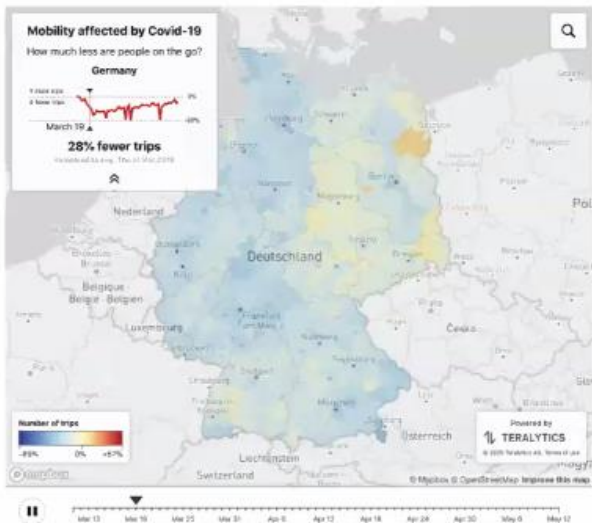
Air Transportation Network

The degree distribution of the air transportation network is well approximated by a power-law with $\gamma = 1.8 \pm 0.2$. The map was built using the International Air Transport Association database that contains the world list of airport and the direct flights between them in 2002. The resulting network is a weighted graph containing the $N=3,100$ largest airports as nodes that are connected by $L=17,182$ direct flights as links, together accounting for 99% of the worldwide traffic. After [25].

mobility analysis

<https://www.covid-10-mobility.org>

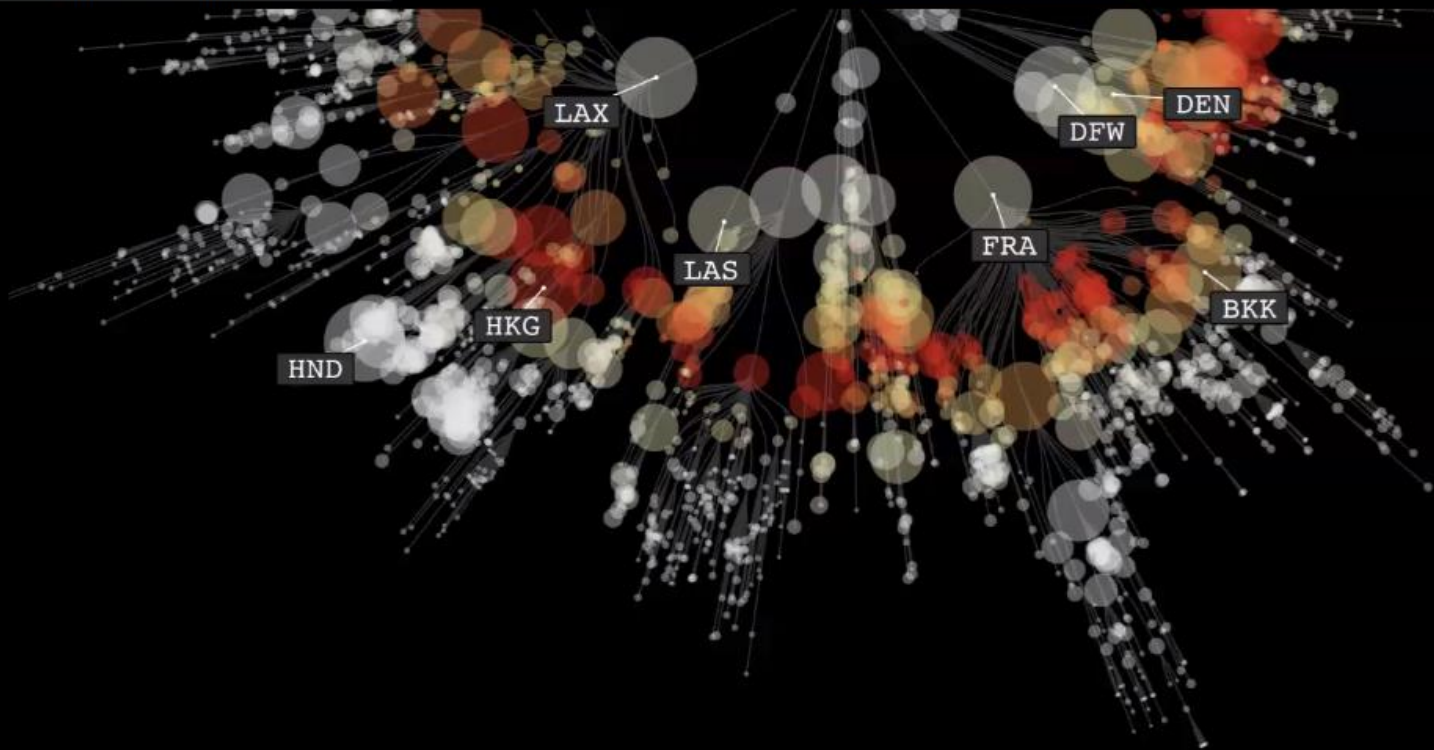
Mobility monitor



aggregated

anonymized





thank you

<http://rocs.hu-berlin.de>

@DirkBrockmann

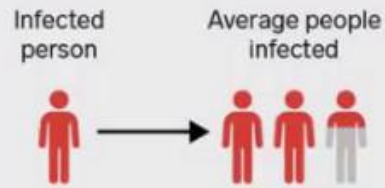


Eine wichtige epidemiologische Größe ist die so genannte Basisreproduktionszahl R_0 . Sie besagt, wie viele Personen von einer infektiösen Person im durchschnittlich angesteckt werden.

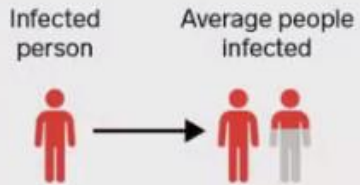
Die Basisreproduktionszahl R_0

The average number of people that one person with a virus infects, based on the R_0 scale

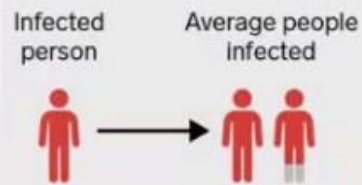
COVID-19: 2–2.5*



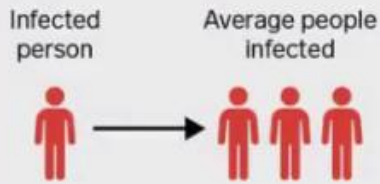
H1N1: 1.2–1.6



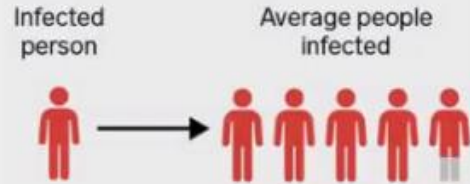
Ebola: 1.6–2



SARS: 2–4



MERS: 2.5–7.2**



*As of February 28, 2020 ** R_0 calculated solely during the 2015 outbreak in South Korea

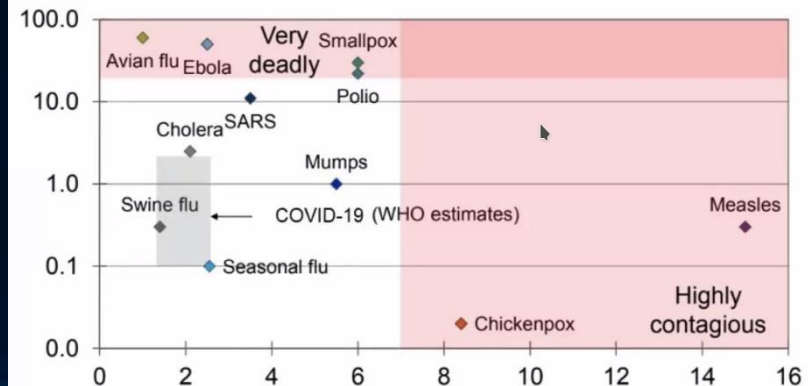
Sources: ScienceMag; WHO; Journal of the ISIRV

BUSINESS INSIDER

Disease	Transmission	R_0
Measles	Airborne	12-18
Pertussis	Airborne droplet	12-17
Diphtheria	Saliva	6-7
Smallpox	Social contact	5-7
Polio	Fecal-oral route	5-7
Rubella	Airborne droplet	5-7
Mumps	Airborne droplet	4-7
HIV/AIDS	Sexual contact	2-5
SARS	Airborne droplet	2-5
Influenza (1918 strain)	Airborne droplet	2-3

How Widespread and How Virulent?

X-axis: Contagiousness (R_0), Y-axis: Mortality rate (% , log scale)



Sources: CDC, WHO, various studies, Moody's Analytics

Populationsmodelle der epidemischen Ausbreitung

- Population-based models
 - Deterministic or stochastic
 - Continuous time
 - Ordinary differential equation
 - Partial differential equations
 - Delay differential equations
 - Integro-differential equations
 - Discrete time
 - Difference equations
- Agent-based/individual-based models
 - Usually stochastic



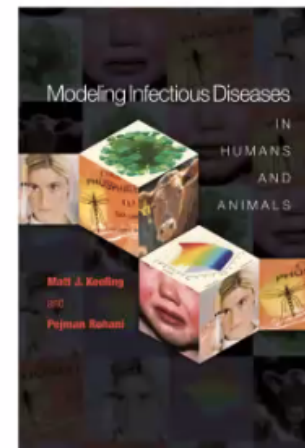
Spreading dynamics on networks: from social interactions to epidemics and pandemics

Fakhteh Ghanbarnejad
Sharif University of Technology, Tehran
<http://www.pks.mpg.de/~fakhteh>

18 March
DPG 2020, Online!



Fakhte

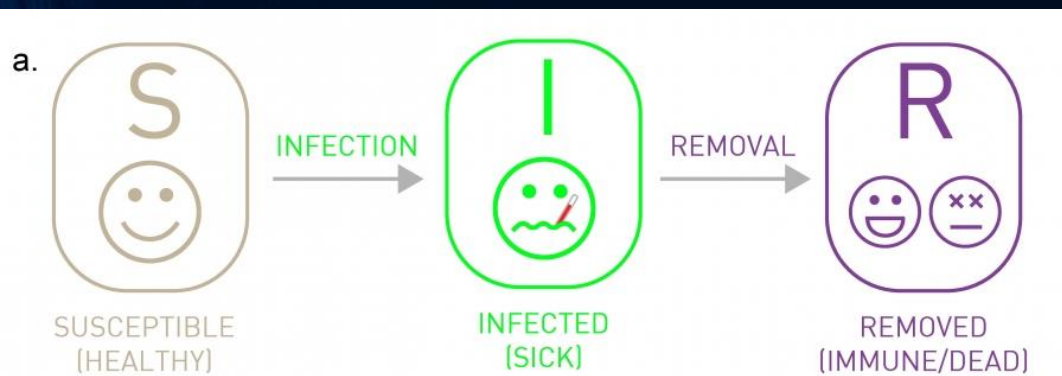


<http://www.modelinginfectiousdiseases.org/>

Deterministische Modelle der epidemischen Ausbreitung

Online-Buch 'Network Science' von Albert-Laszlo Barabasi, Chapter 10: Spreading phenomena

Die deterministischen Populationsmodelle der Epidemiologie basieren auf gewissen vereinfachten Grundannahmen.



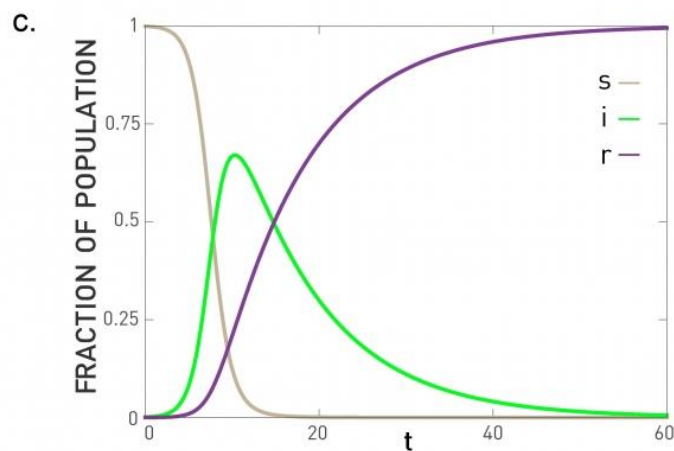
b.

$$\frac{ds}{dt} = -\beta \langle k \rangle i [1 - r - i]$$

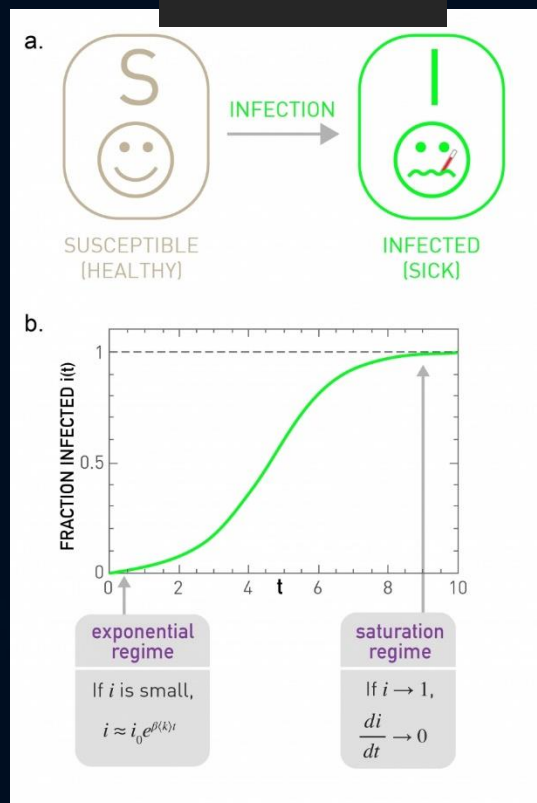
$$\frac{di}{dt} = -\mu i + \beta \langle k \rangle i [1 - r - i]$$

$$\frac{dr}{dt} = \mu i$$

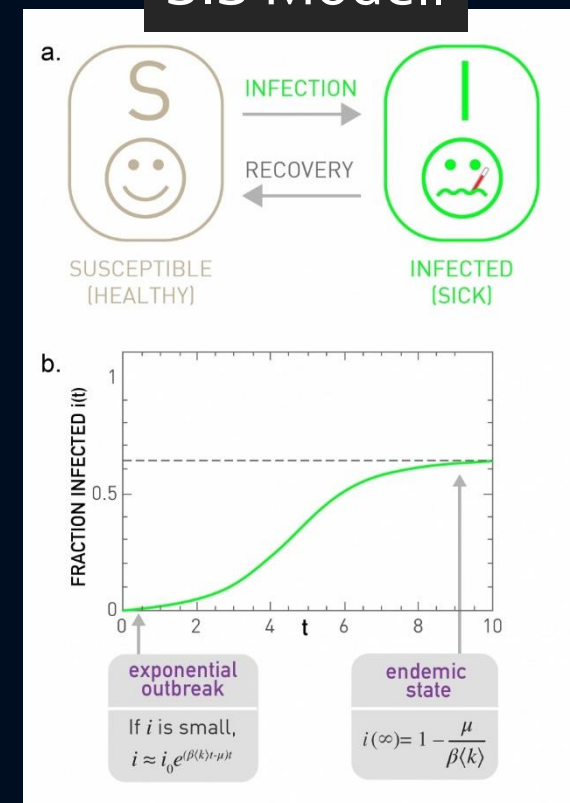
SIR Modell



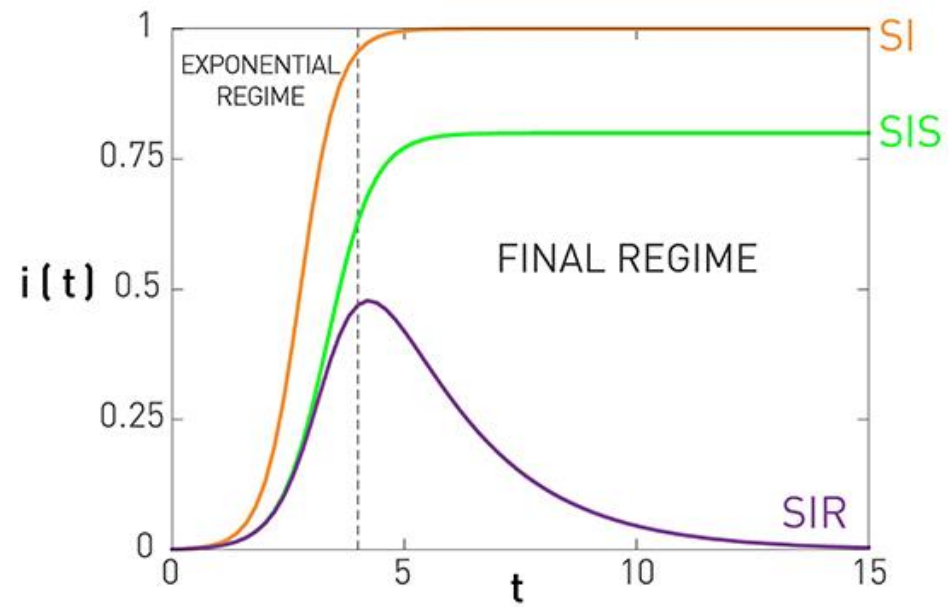
SI Modell



SIS Modell



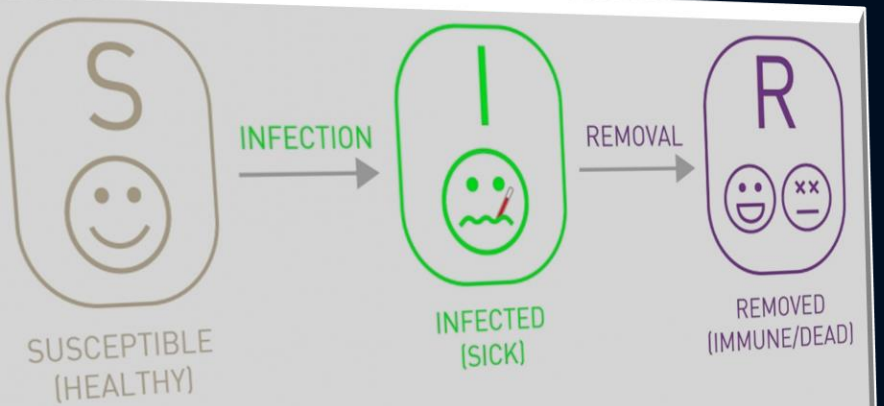
Susceptible (S: Gesunde Personen, die mit dem Virus noch keinen Kontakt hatten)
 Infected (I: Infizierte Personen, die mit dem Virus Kontakt hatten und andere anstecken können),
 Recovered (Personen, die infiziert waren aber nicht mehr infektiös sind und sich von der Krankheit erholt haben),
 Removed (R: Recovered + gestorbene Personen)



	SI	SIS	SIR
Exponential Regime: Number of infected individuals grows exponentially	$i = \frac{i_0 e^{\beta(k)t}}{1 - i_0 + i_0 e^{\beta(k)t}}$	$i = \left(1 - \frac{\mu}{\beta(k)}\right) \frac{C e^{(\beta(k) - \mu)t}}{1 + C e^{(\beta(k) - \mu)t}}$	No closed solution
Final Regime: Saturation at $t \rightarrow \infty$	$i(\infty) = 1$	$i(\infty) = 1 - \frac{\mu}{\beta(k)}$	$i(\infty) = 0$
Epidemic Threshold: Disease does not always spread	No threshold	$R_0 = 1$	$R_0 = 1$

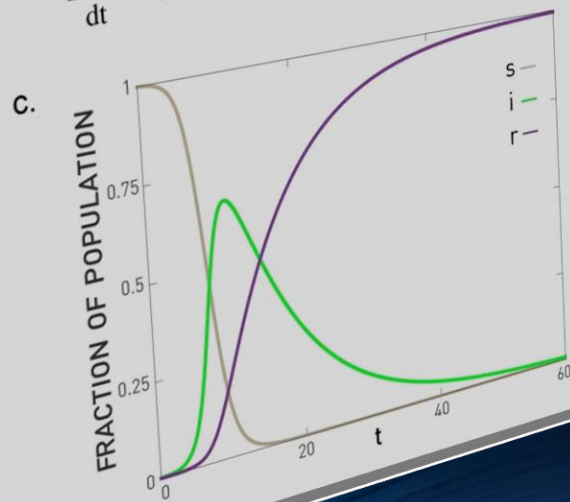
Das deterministische SIR Modell

Modeling Infectious Diseases in Humans and Animals
by Matt J. Keeling and Pejman Rohani
<http://www.modelinginfectiousdiseases.org/>



b.

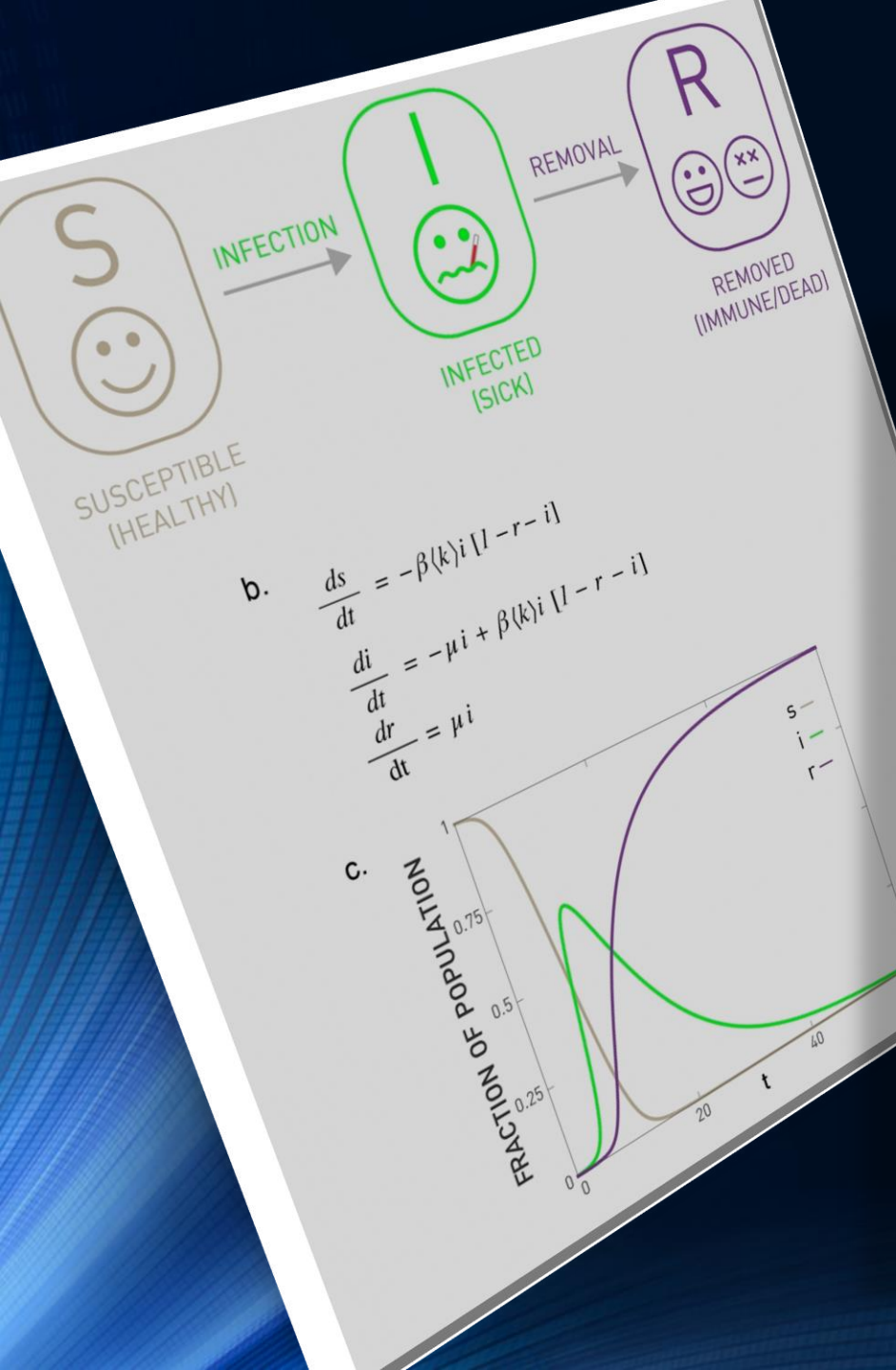
$$\frac{ds}{dt} = -\beta \langle k \rangle i [l - r - i]$$
$$\frac{di}{dt} = -\mu i + \beta \langle k \rangle i [l - r - i]$$
$$\frac{dr}{dt} = \mu i$$



Wir betrachten zunächst das deterministische SIR Modell (das Susceptible-Infected-Recovered (SIR) Modell), welches die Ausbreitung eines Krankheitserregers, unter gewissen vereinfachten Grundannahmen, in einer analytisch formulierten Differentialgleichung. Im SIR-Modell befindet sich jedes Individuum der betrachteten Population zu jedem Zeitpunkt in einer von drei unterschiedlichen Zuständen (S,I,R).

Das dem Model zugrundeliegende Kontakt-Netzwerk basiert auf einer 'homogene Massenwirkungsnaherung', die annimmt, dass jede Person mit gleicher Wahrscheinlichkeit mit jeder Anderen in Kontakt treten kann. Man nimmt an, dass ein typisches Individuum im Durchschnitt $\langle k \rangle$ Kontakte hat und dass die Wahrscheinlichkeit, dass die Krankheit in einer Zeiteinheit Δt von einem Infizierten auf eine andere Person übertragen wird, mittels des Parameters β quantifiziert ist. Zusätzlich können sich infizierte Personen mit einer Wahrscheinlichkeit μ von der Krankheit erholen/sterben. Die genesenen ("Recovered") Personen betrachtet man als nicht mehr infizierbar (immun) und nimmt zusätzlich an, dass sie auch keine Anderen infizieren können. Man fügt dieser Personengruppe auch die Personen hinzu, die an dem Virus gestorben sind (Removed).

Das deterministische SIR Modell



$$\frac{ds(t)}{dt} = - \underbrace{\beta \langle k \rangle i(t) \cdot s(t)}_{\text{pro } \Delta t \text{ neu Infizierte}}$$

$$\frac{di(t)}{dt} = - \underbrace{\mu i(t)}_{\text{pro } \Delta t \text{ Gen. und Gest.}} + \underbrace{\beta \langle k \rangle i(t) \cdot s(t)}_{\text{pro } \Delta t \text{ neu Infizierte}}$$

$$\frac{dr(t)}{dt} = \underbrace{\mu i(t)}_{\text{pro } \Delta t \text{ Genesene und Gestorbene}},$$

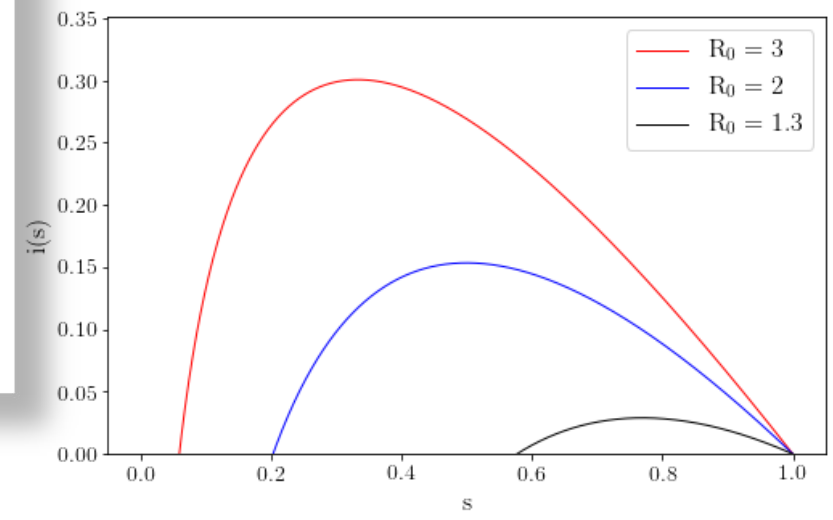
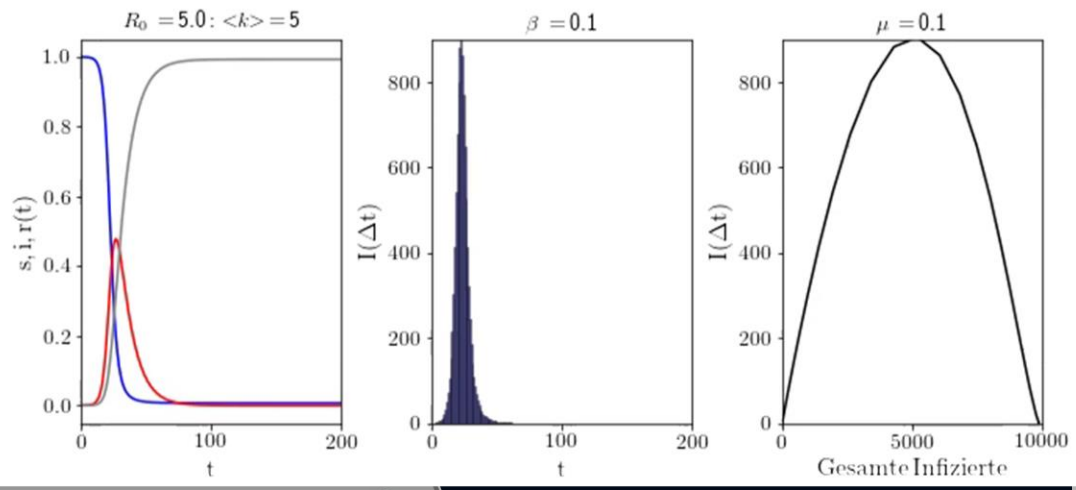
wobei $s(t) = \frac{S(t)}{N}$ der Anteil der noch nicht erkrankten Personen, $i(t) = \frac{I(t)}{N}$ der Anteil der infizierten Personen und $r(t) = \frac{R(t)}{N}$ der Anteil der genesenen und gestorbenen Personen darstellt.

Physik der sozio-ökonomischen Systeme
 Physics of Socio-Economic Systems

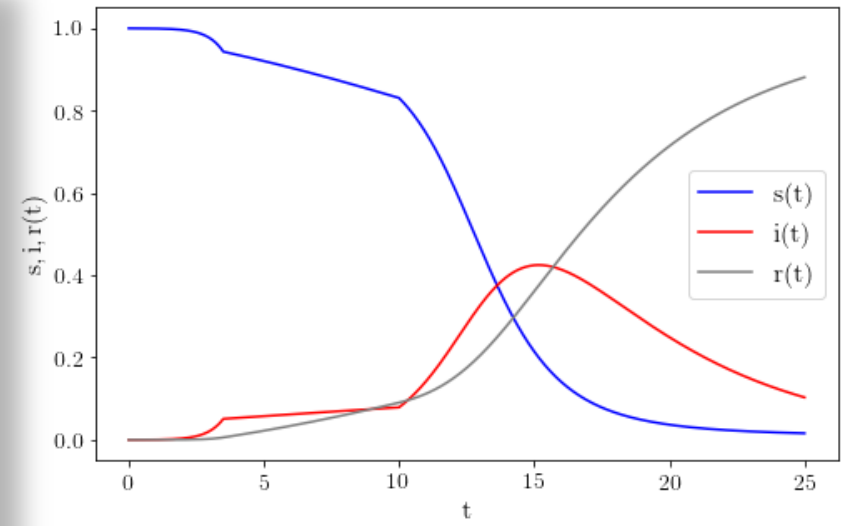
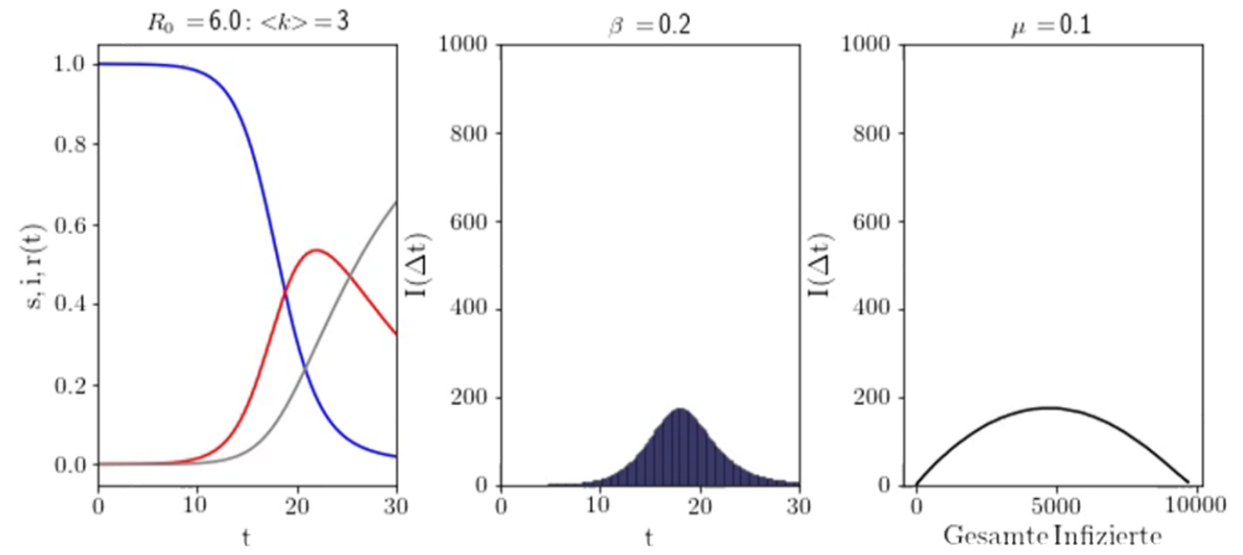
Vorlesung gehalten an der J.W.Goethe-Universität in Frankfurt am Main
 von Dr.phil.nat. Dr.rer.pol. Matthias Hanauske
 (Wintersemester 2020/21)

Dritter Vorlesungsteil:
 Ausbreitung eines Virus auf einem komplexen Netzwerk
 Das deterministische SIR Modell

Einführung
 Die Ausbreitung eines Virus auf einem Netzwerk (Knoten und Kanten)
 Das deterministische SIR Modell



Jupyter Notebook: Das deterministische SIR Modell



Simulationsbasierte, Stochastische Modelle

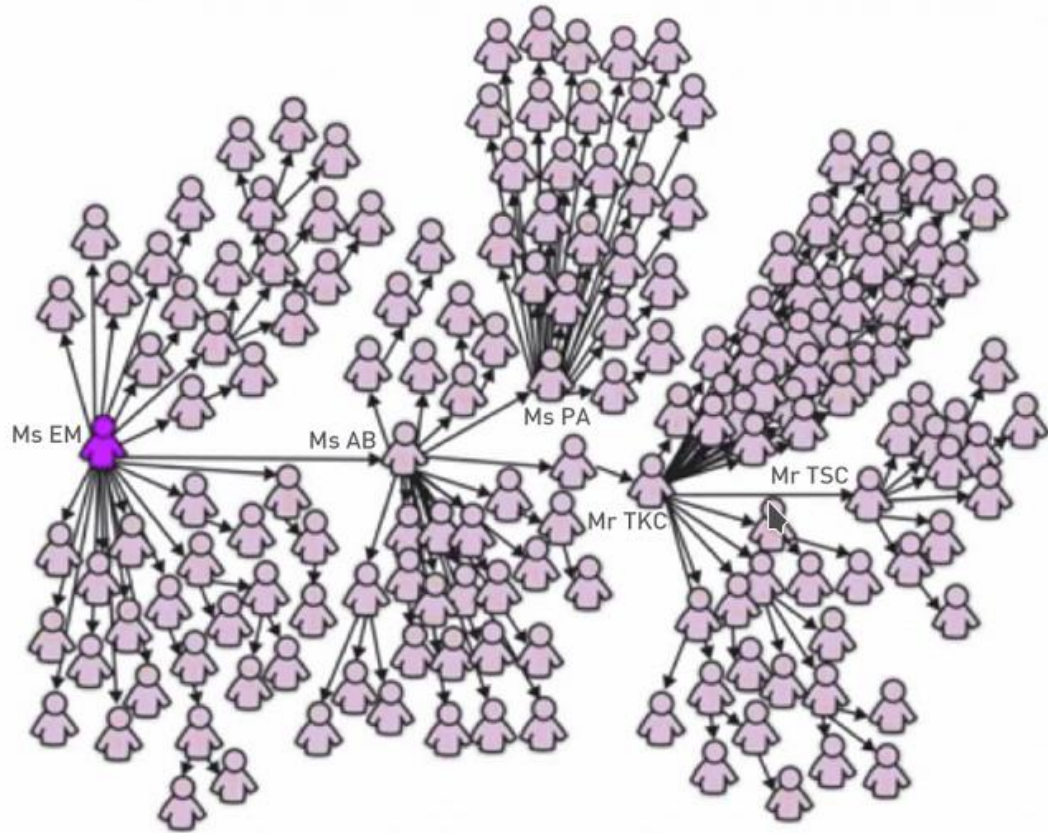


Image 10.1

Super-spreaders

One-hundred-and-forty-four of the 206 SARS patients diagnosed in Singapore were traced to a chain of five individuals that included four *super-spreaders*. The most important of these was *Patient Zero*, the physician from Guangdong Province in China, who brought the disease to the Metropole Hotel. After [1].

Eine bedeutende Einschränkung des deterministischen SIR-Modells der Virusausbreitung ist die im Modell angenommene vereinfachte Kontakt-Netzwerkstruktur der das Virus verbreitenden Personen. Die Ausbreitung eines Krankheitserregers (z.B. Covid-19 Virus), eines Computervirus im Internet oder eines Gerüchts ("Fake-News") in einem sozialen Netzwerk hängt jedoch stark von der Topologie des zugrundeliegenden komplexen Netzwerkes ab.

Die Grundhypothesen des SIR Modells sind in der Realität nicht erfüllt und beobachtbare Effekte, wie z.B. das Super-Spreader Phänomen, können durch das SIR-Modell nicht beschrieben werden.

Simulationsbasierte Modelle berechnen hingegen die Ausbreitung eines Krankheitserregers auf einer komplexen Netzwerkstruktur, wobei die einzelnen Personen in ihrem Mobilitäts- und Kontakt-Netzwerk eingebettet sind.

Simulationsbasierte, Stochastische Modelle

Eine der die Ausbreitung am stärksten bestimmende Größe ist die zugrundeliegende Kontakt-Netzwerkstruktur der das Virus verbreitenden Personen.

In den simulationsbasierten Modellen kann man die Auswirkungen der Topologie des Kontakt-Netzwerks studieren. Die Verteilungsfunktion der Knotengrade spielt hierbei wieder eine bedeutende Rolle und kann mittels der 'degree block'-Approximation analysiert werden (siehe Image 10.9 in [Chapter 10: Spreading phenomena](#)).

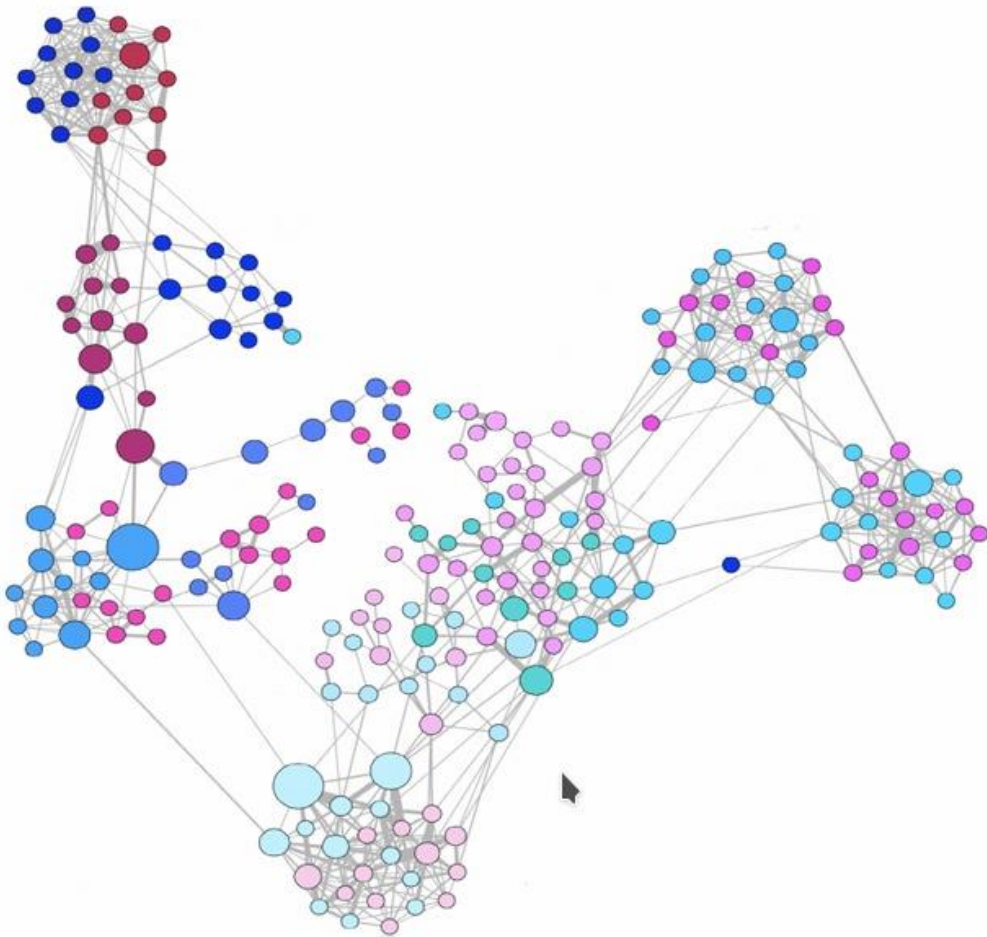
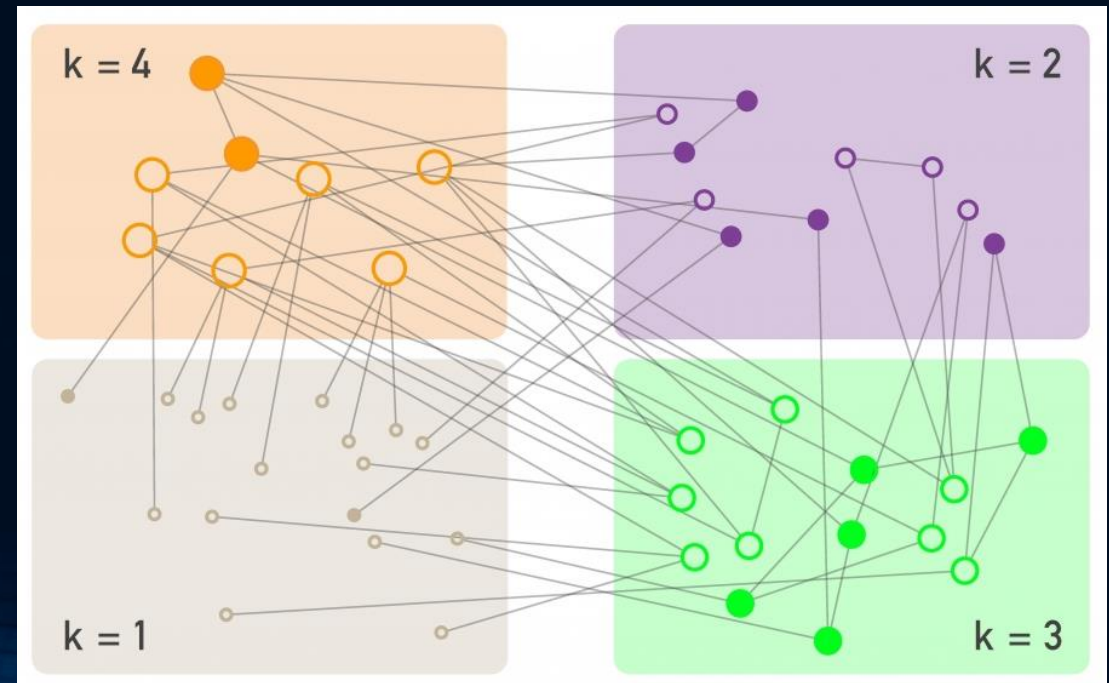


Image 10.16

A Face-to-face Interactions

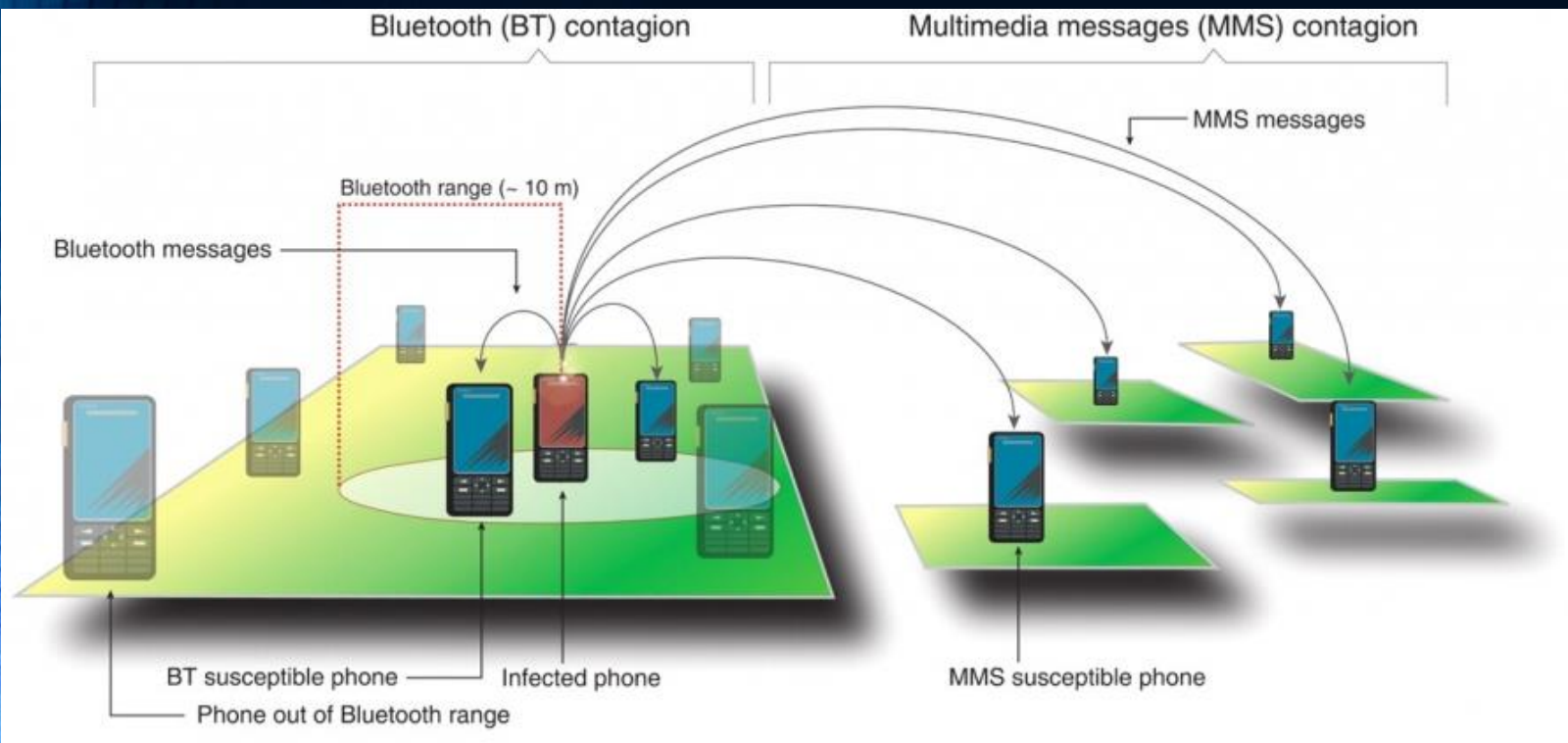
A face-to-face contact network mapped out using RFA tags, capturing interactions between 232 students and 10 teachers across 10 classes in a school [31]. The structure of the maps obtained by RFID tags depend on the context in which they are collected. For example the school network shown here reveals the presence of clear communities. In contrast, a study capturing the interactions between individuals that visited a museum reveal an almost linear network [29]. Finally, a network of attendees of a small conference is rather dense, as most participants interact with most others [29]. After [31].



Kontakt-Netzwerke

Bei luftgetragenen Krankheiten wie Influenza, SARS oder Covid-19 erfasst das Kontaktnetzwerk die Gruppe von Personen, die eine Person in physische Nähe bringt. Die Struktur dieses Kontaktnetzwerks gliedert sich einerseits in das globale Reizenetzwerk, welches eine weltweite Ausbreitung des Erregers ermöglicht das lokale Kontaktnetzwerks, d. h. die Anzahl der Personen, mit denen eine Person direkt interagiert.

Die Untersuchung digitaler Viren, die Computer und Smartphones infizieren, stellt eine weitere wichtige Anwendung von Epidemiephänomenen dar. Computerviren zeigen ebenso viel Vielfalt wie biologische Viren. Viele Computerviren verbreiten sich als E-Mail-Anhänge und das zugrundeliegende Kontaktnetzwerk ist das das skalenfreie Netzwerk der E-Mail-Verbindungen.



Andere Computerviren nutzen verschiedene Kommunikationsprotokolle des Internets aus und verbreiten sich auf dem skalenfreien Netzwerk der Internet-Verbindungen. Handyviren verbreiten sich über „Multimedia Messaging Service (MMS)“ und Bluetooth. MMS-Viren agieren auf dem sozialen Netzwerk der mobilen Kommunikation. Mobile Viren können sich auch über Bluetooth verbreiten und eine Kopie von sich selbst an alle anfälligen Telefone mit einer BT-Verbindung in ihrer physischen Nähe übergeben.

Kontakt-Netzwerke

Beispiel: Romantische/Sexuelle Kontakte

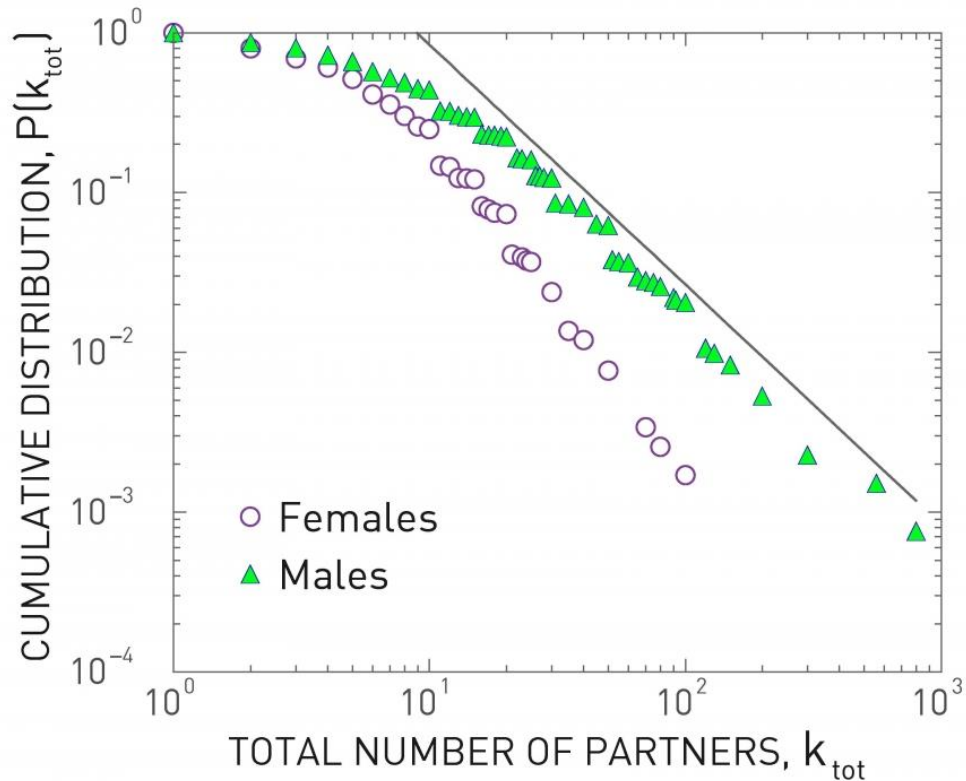


Image 10.13

The Sex Web

Cumulative distribution of the total number of sexual partners k since sexual initiation for individuals interviewed in the 1996 study on sexual patterns in Sweden [15]. For women a power law fit to the tail indicates $\gamma=3.1\pm 0.3$ for $k > 20$; for men $\gamma=2.6\pm 0.3$ in the range $20 < k < 400$. Note that for men the average number of partners is higher than for women. This difference may be rooted social bias, prompting males to exaggerate and females to suppress the number of sexual partners they report. After [16].

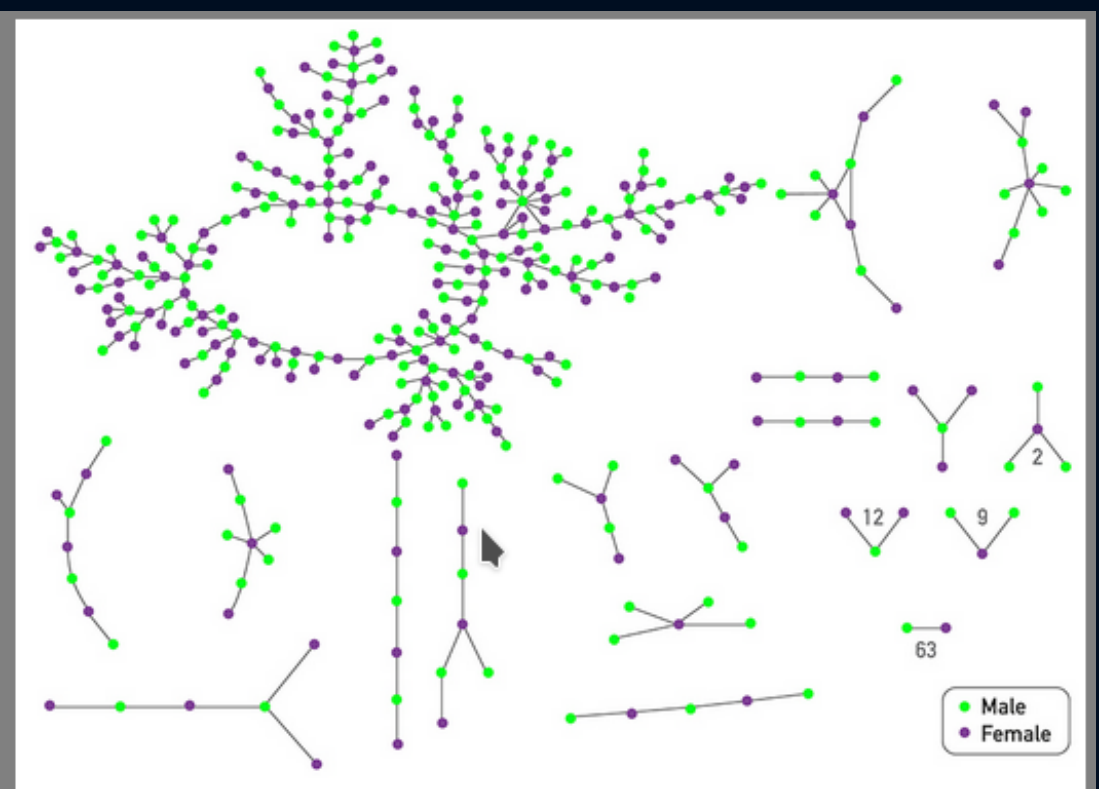


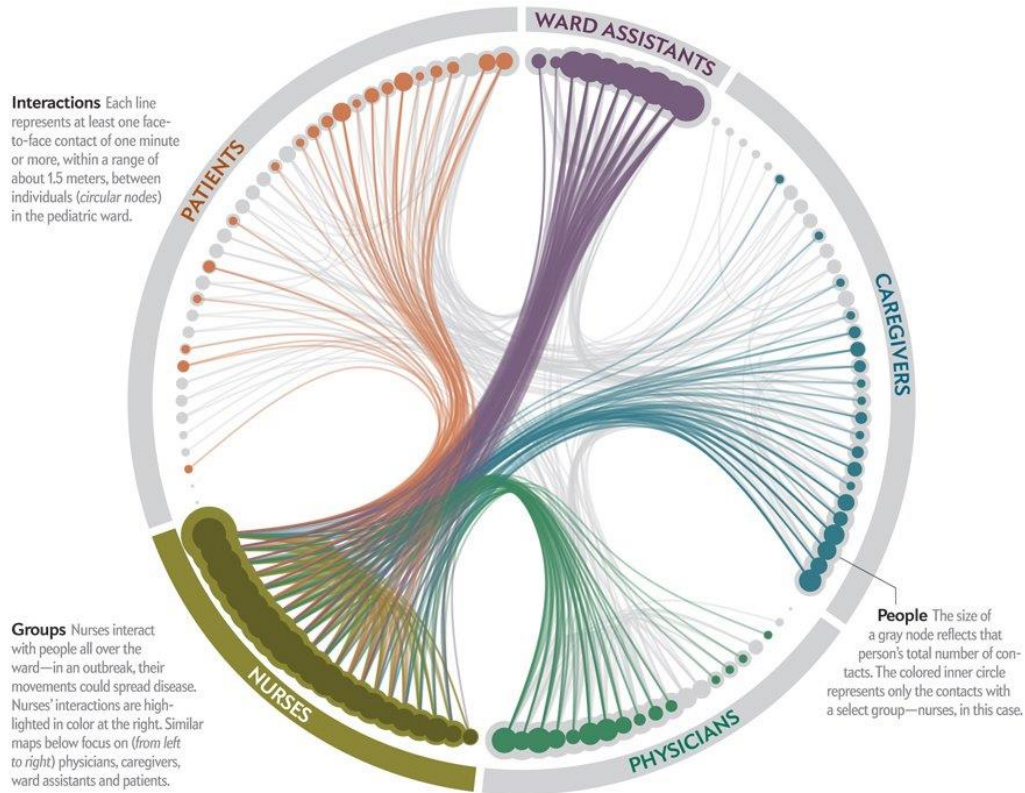
Image 10.14

Romantic Links in a High School

Romantic and sexual links between high school students in midwestern United States. Each circle represents a student and the links represent romantic relationships during six months preceding the interview. The numbers indicate the frequency of each subgraph: there are 63 couples isolated from the rest of the network. After [20].

Das HIV-Virus, der für AIDS verantwortliche Erreger, breitet sich hauptsächlich durch Geschlechtsverkehr aus. Folglich erfasst das entsprechende Kontaktnetzwerk, wer eine sexuelle Beziehung mit wem hatte.

Kontakt-Netzwerke



Die Miteinbeziehung einer zeitlichen Veränderung des bestehenden Kontaktnetzwerkes ist in simulationsbasierten Ansätzen auch möglich.

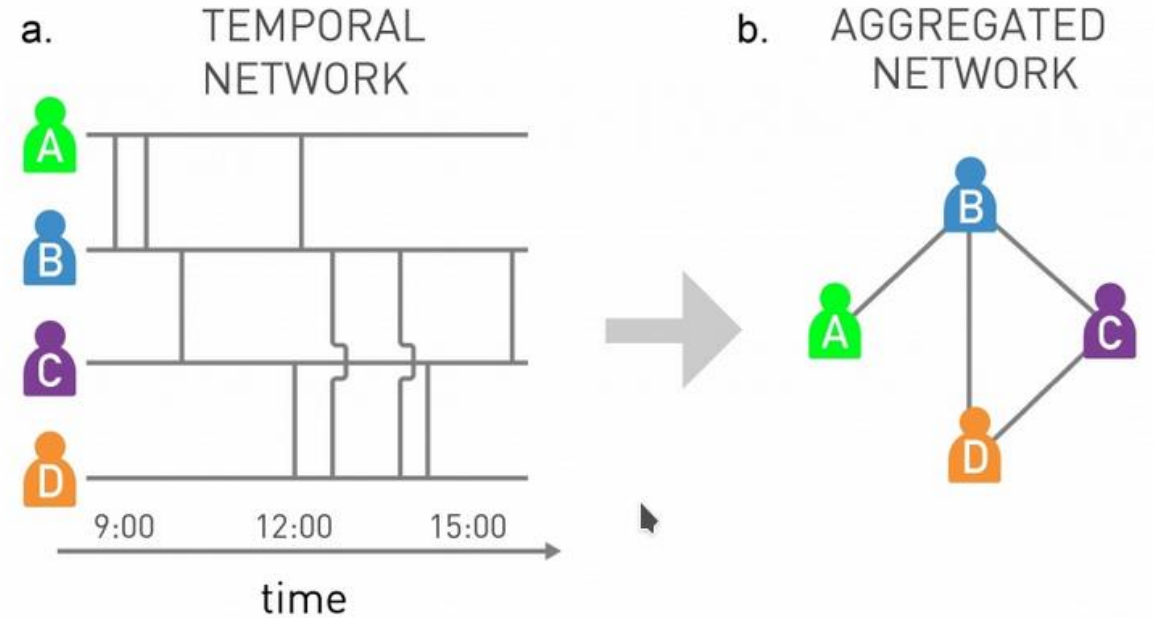


Image 10.17

Temporal Networks

Most interactions in a network are not continuous, but have a finite duration. We must therefore view the underlying networks as *temporal networks*, an increasingly active research topic in network science.

- **Temporal Network**

The timeline of the interactions between four individuals. Each vertical line marks the moment when two individuals come into contact with each other. If A is the first to be infected, the pathogen can spread from A to B and then to C, eventually reaching D. If, however, D is the first to be infected, the disease can reach C and B, but not A. This is because there is a temporal path from A to D.

- **Aggregated Network**

The network obtained by merging the temporal interactions shown in (a). If we only have access to this aggregated representation, the pathogen can reach all individuals, independent of its starting point. After [40].

SCIENTIFIC AMERICAN ▶ [HTTPS://WWW.SCIENTIFICAMERICAN.COM/ARTICLE/GRAPHIC-SCIENCE-RFID-TAGS-TRACK-POSSIBLE-OUTBREAK-PATHWAYS-IN-HOSPITAL/](https://www.scientificamerican.com/article/graphic-science-rfid-tags-track-possible-outbreak-pathways-in-hospital/)

Online Resource 10.2

Hospital Outbreaks

Bacteria resistant to current antibiotics pose an important threat to global health. Such bacteria are particularly prevalent in hospitals and health care facilities. The Interactive Feature by Scientific American describes the tracking of bacterial outbreaks in hospitals.

Jupyter Notebook: Ausbreitung eines Virus auf einem komplexen Netzwerk *Simulationsbasierte Lösungen*

Physik der sozio-ökonomischen Systeme
(Physics of Socio-Economic Systems with the Computer)

Vorlesung gehalten an der J.W.Goethe-Universität in Frankfurt am Main

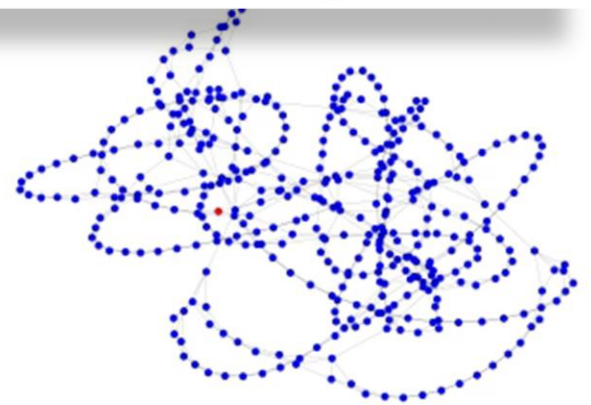
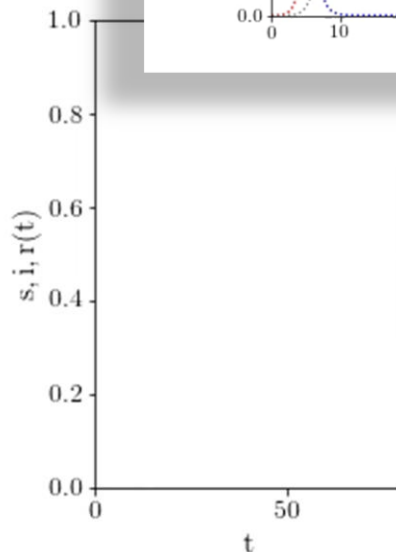
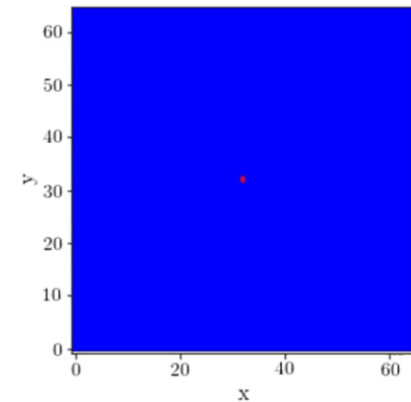
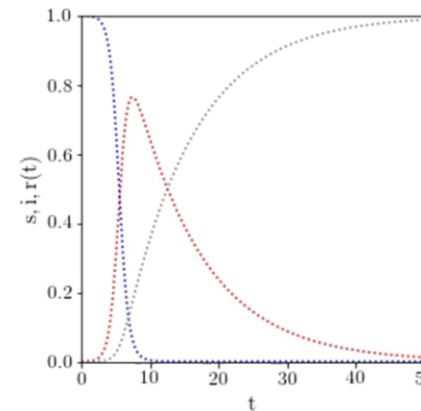
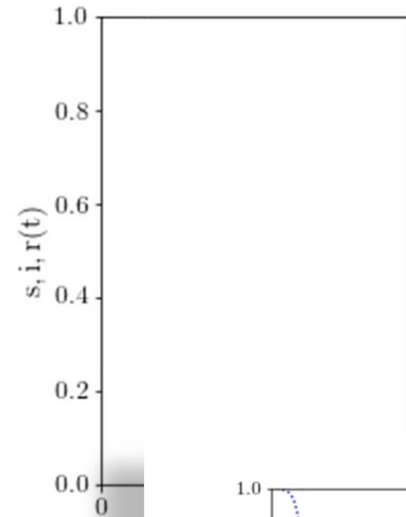
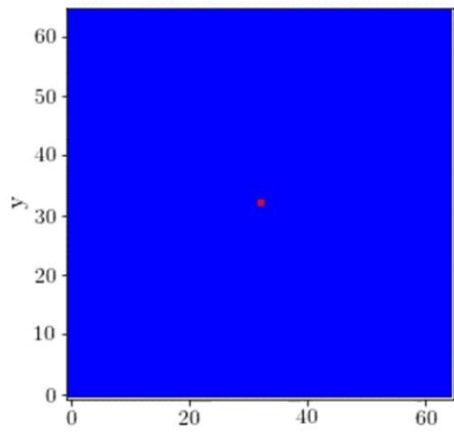
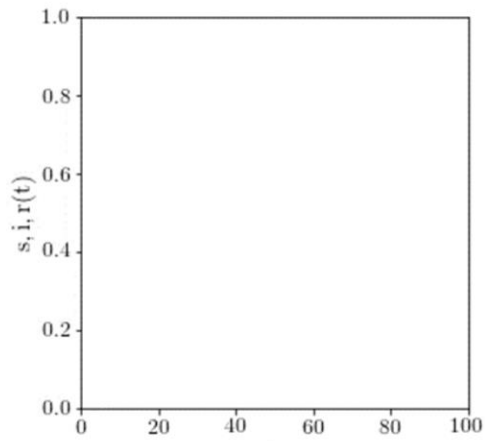
(Wintersemester 2020/21)

von Dr.phil.nat. Dr.rer.pol. Matthias Hanauske

Frankfurt am Main 31.12.2020

Zweiter Vorlesungsteil:

Ausbreitung eines Virus auf einem komplexen Netzwerk
Simulationsbasierte Lösungen



Evolutionäre Spieltheorie auf komplexen Netzwerken

Die deterministische evolutionäre Spieltheorie und die Differentialgleichung der Replikatordynamik benutzt ähnliche Annahmen wie das deterministische SIR-Modell (vollständig verbundenes Netzwerk, jede Person kann mit jeder Anderen das Spiel spielen). In der nächsten Vorlesung werden wir evolutionäre Spiele auf komplexen Netzwerken analysieren.

Die von der Regierung getroffenen Entscheidungen (z.B. Kontaktbeschränkungen, Mobilitätsbeschränkungen, Schließungen von Restaurants und Schulen, Maskenpflicht) stellen gewisse Randbedingungen des Interaktionsverhaltens der Personen des jeweiligen Landes dar und verändern dadurch den epidemischen Verlauf der Ausbreitung des Virus. Die Spieler des evolutionären Spiels stehen zu jedem Zeitpunkt vor der Entscheidung inwieweit sie diese Entscheidungen umsetzen, und die individuelle Entscheidung (Strategie) einer Person (eines Spielers) der Population ist von dem Nutzen (der Auszahlungs-Struktur) bestimmt. In Abhängigkeit von der betrachteten Strategiemöglichkeit sind hier verschiedene Spieltypen/Spielklassen möglich. So kann man z.B. die individuelle Entscheidung wie viele und welche Personen man aus seinem Kontakt-Netzwerk entfernt als ein evolutionäres Spiel auffassen, wobei die Auszahlungsfunktion des Spiels nur zum Teil von den gegebenen Randbedingungen bestimmt ist und die eigentliche getroffene Entscheidung direkter durch den Nutzen der jeweiligen Kontaktverbindungen determiniert wird. Die gesamte Auszahlungsfunktion bestimmt zusätzlich noch der soziale Druck, welcher z.B. durch Medien und das soziale Informationsumfeld der Person auf seine Entscheidung einwirkt

Vorlesungsprojekte

In den Vorlesungs- und Übungsterminen am 05. und 12.02.2021 werden Sie an selbst gewählten Vorlesungsprojekten arbeiten. Am letzten Termin, 19.02.2021, können Sie dann Ihre Projektergebnisse kurz präsentieren.