

Komplexität managen: Von der Pandemie zu Organisationen

Assoz. Prof. Priv. Doz. Mag. Dr. **Peter Klimek**

Agile Tour Vienna, 16. 9. 2021



COMPLEXITY
SCIENCE
HUB
VIENNA



MEDICAL UNIVERSITY
OF VIENNA

Management eines Systems

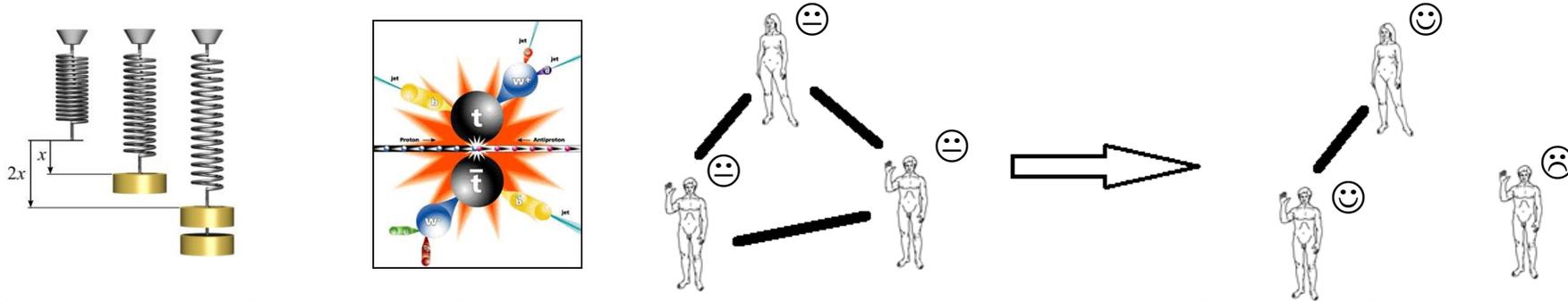
=

Fähigkeit ***vorherzusagen***, zu welchen Ergebnissen mögliche
Aktionen / Interventionen führen werden

Ohne diese Fähigkeit managen wir nicht — sondern spielen Roulette

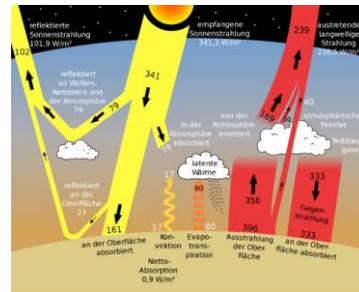
Welche Systeme *können* wir gut vorhersagen?

- Sehr, sehr kleine ($\sim 1-10$ Komponenten)



Haben eine Chance richtigen Gesetze zu erraten (Physik, Soziologie, ...)!

- Sehr, sehr große ($\sim 10^{28}$ Komponenten)



Statistische Gesetzmäßigkeiten greifen!

Was sind Komplexe Systeme?

- Zu groß und vielschichtig um die einzelnen Gesetze alle richtig zu bekommen.
- Zu klein, dynamisch, und mit wechselseitigen Abhängigkeiten durchsetzt um sinnvoll Statistik betreiben zu können.
- Konsequenz:



"Ich weiß schon, meine Damen und Herren, das alles ist sehr kompliziert so wie diese Welt, in der wir leben und handeln, und die Gesellschaft, in der wir uns entfalten wollen. Haben wir daher den Mut, mehr als bisher auf diese Kompliziertheit hinzuweisen; zuzugeben, daß es perfekte Lösungen für alles und für jeden in einer pluralistischen Demokratie gar nicht geben kann."

Fred Sinowatz *Regierungserklärung 31. Mai 1983,*

Was sind Komplexe Systeme?

- Komplexe Systeme bestehen aus vielen Komponenten
- Diese Komponenten haben bestimmte Eigenschaften und interagieren miteinander.
- Details sind wichtig! Wer interagiert wann mit wem unter welchen Bedingungen?
- Interaktionen können die Eigenschaften der Komponenten verändern
- Bestimmte Eigenschaften verändern Art und Weise der Interaktionen

Was sind Komplexe Systeme?

- Komplexe Systeme bestehen aus vielen Komponenten
- Diese Komponenten haben bestimmte Eigenschaften und interagieren miteinander.
- Details sind wichtig! Wer interagiert wann mit wem unter welchen Bedingungen?

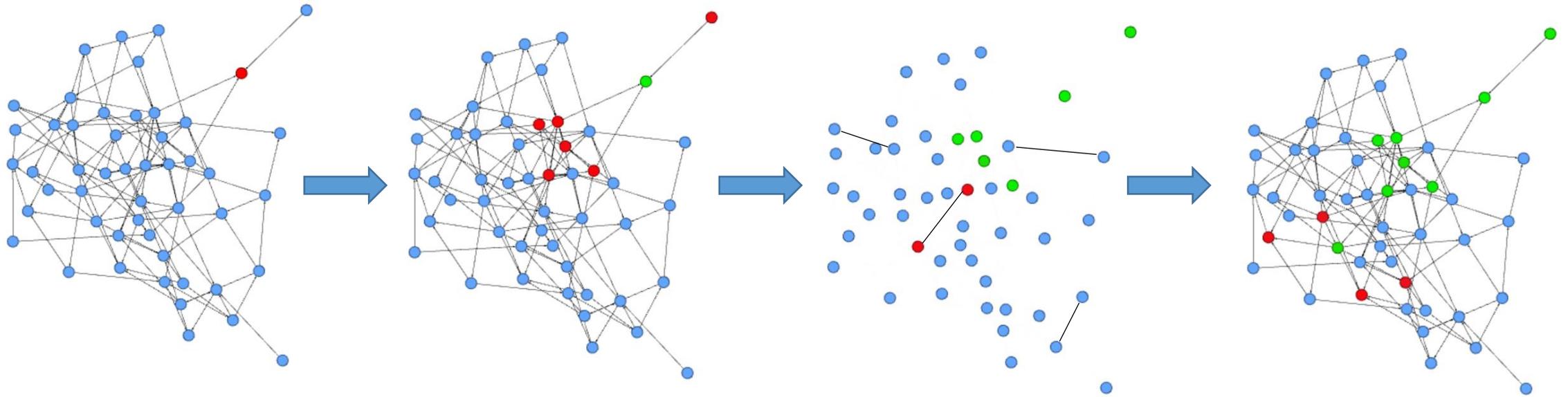


- Interaktionen können die Eigenschaften der Komponenten verändern.
- Bestimmte Eigenschaften verändern Art und Weise der Interaktionen.



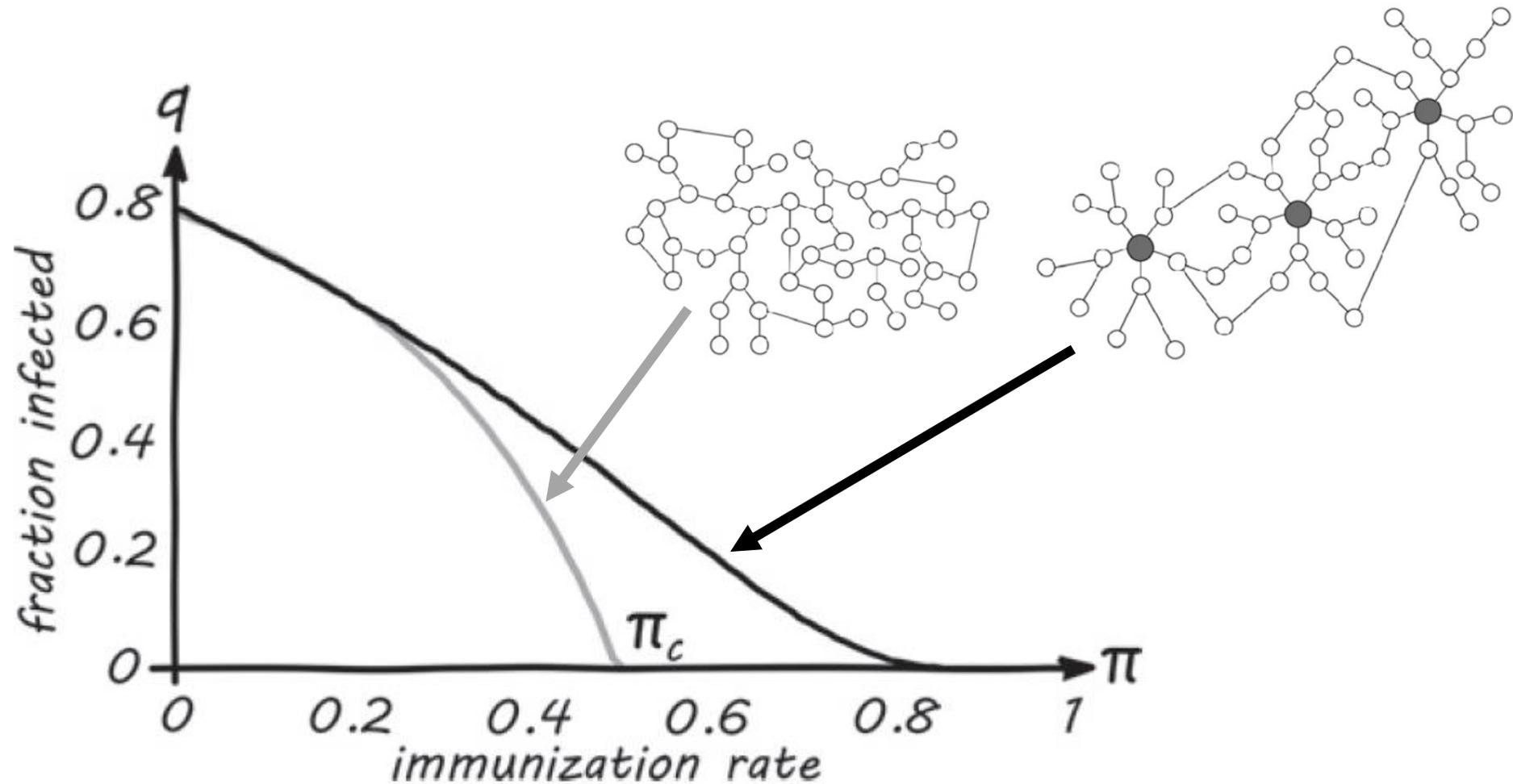
Diese Feedbacks machen Komplexe Systeme komplex!

Was sind Komplexe Systeme?



Form begets function begets form begets function

Networks matter.

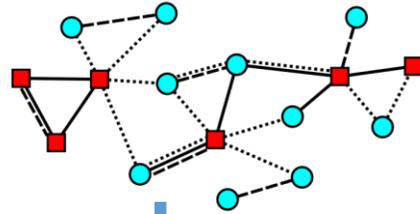


Thurner, Hanel, Klimek, Introduction to the Theory of Complex Systems (Oxford University Press, 2018).

Zum Management Komplexer Systeme

- **Gamechanger 1: Neue Daten.**
 - Digitale Fingerabdrücke aus allen Bereichen des Lebens.
 - Speicher und Rechenpower kosten praktisch nichts mehr.
- **Gamechanger 2: Neue Methoden.**
 - Neue Mathematik: Netzwerktheorie (jeder Datensatz kann als Netzwerk repräsentiert werden), Theorie dynamischer stochastischer Systeme
 - Neue Statistik: Inferenzmethoden, data mining, machine learning, full scale simulation
- Neue Daten → Sämtliche Eigenschaften+Veränderungen aller Komponenten können live beobachtet werden
- Neue Methoden → Abhängigkeitsstrukturen können aus den Daten gelernt werden
- → **Komplexe Systeme tatsächlich zu managen**
(zum ersten Mal in der Menschheitsgeschichte)

Beispiele für Komplexe Systeme

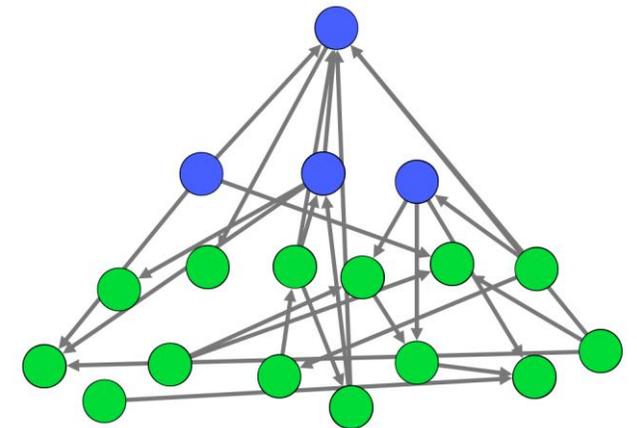
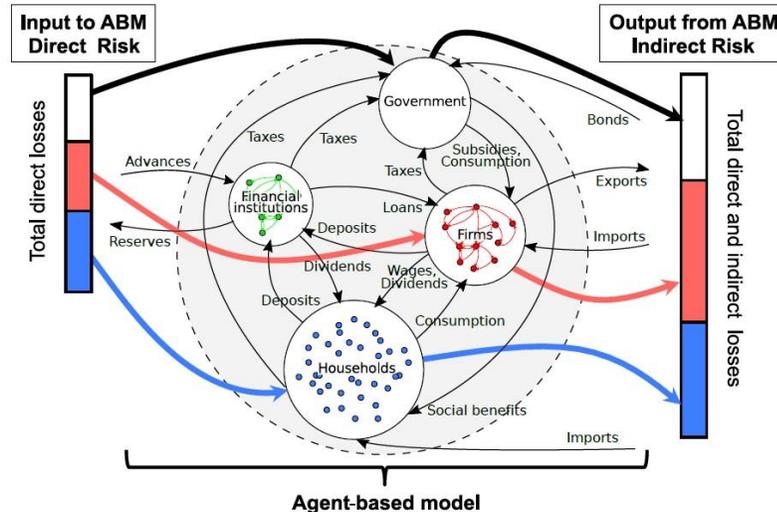
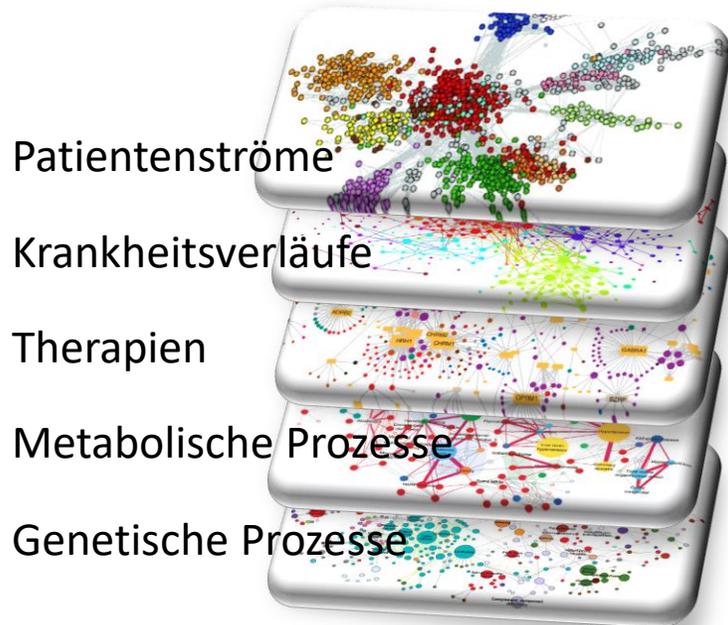


Medizin & Gesundheit

Finanz & Wirtschaft

Organisationen & Institutionen

USW...



BEISPIEL I: MEDIZIN & GESUNDHEIT

Medizin & Gesundheit

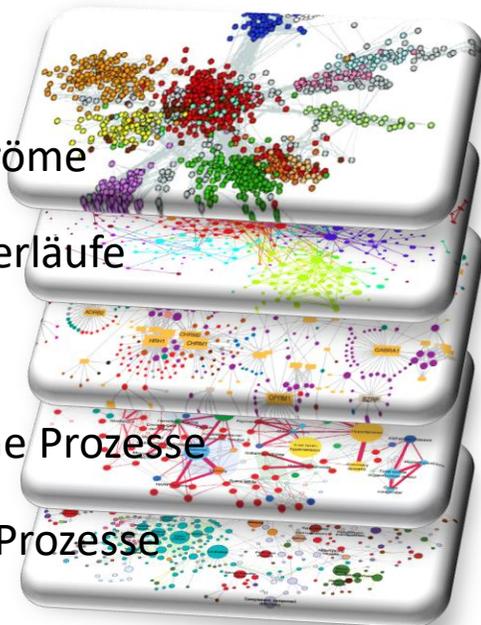
Patientenströme

Krankheitsverläufe

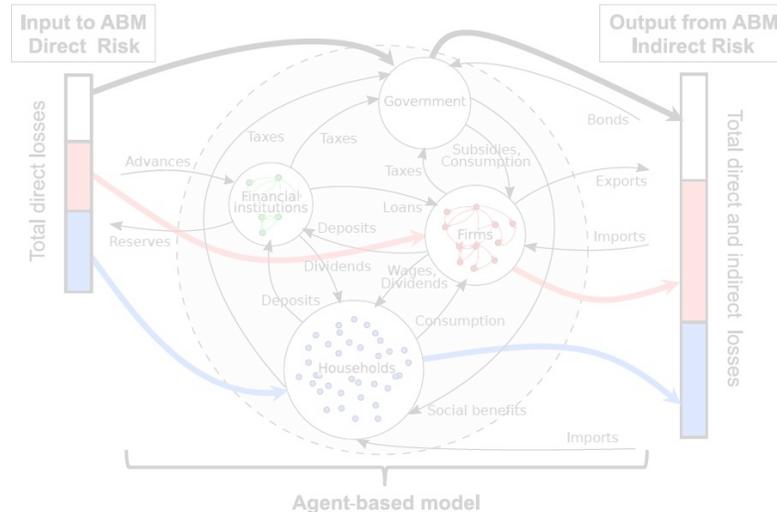
Therapien

Metabolische Prozesse

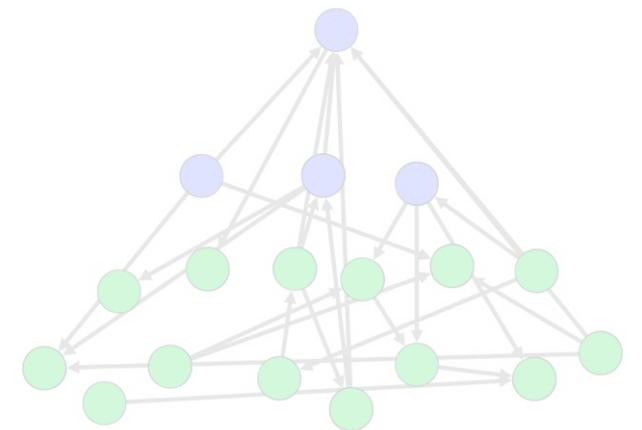
Genetische Prozesse



Finanz & Wirtschaft



Organisationen & Institutionen



WIRED MAGAZINE: 16.07

SCIENCE : DISCOVERIES

The End of Theory: The Data Deluge Makes the Scientific Method Obsolete

By Chris Anderson 06.23.08



Illustration: Marian Bantjes

“Petabytes allow us to say: “Correlation is enough.” We can stop looking for models. We can analyze the data without hypotheses about what it might show. We can throw the numbers into the biggest computing clusters the world has ever seen and let statistical algorithms find patterns where science cannot.”

Chris Anderson. 2008. “The End of Theory: The Data Deluge Makes the Scientific Method Obsolete.” *Wired Magazine*, June 27.

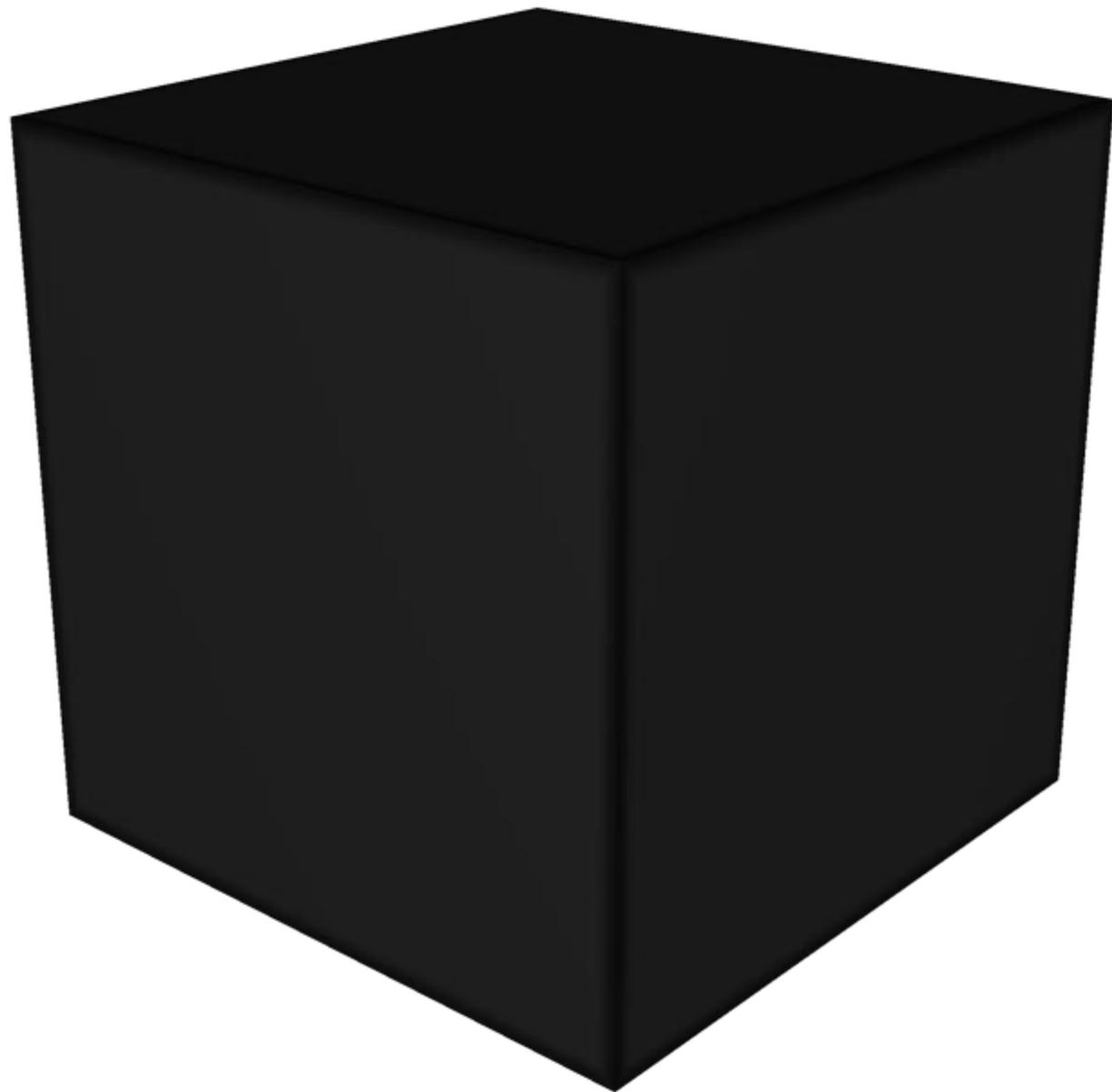
Das Ende des Verstehens?

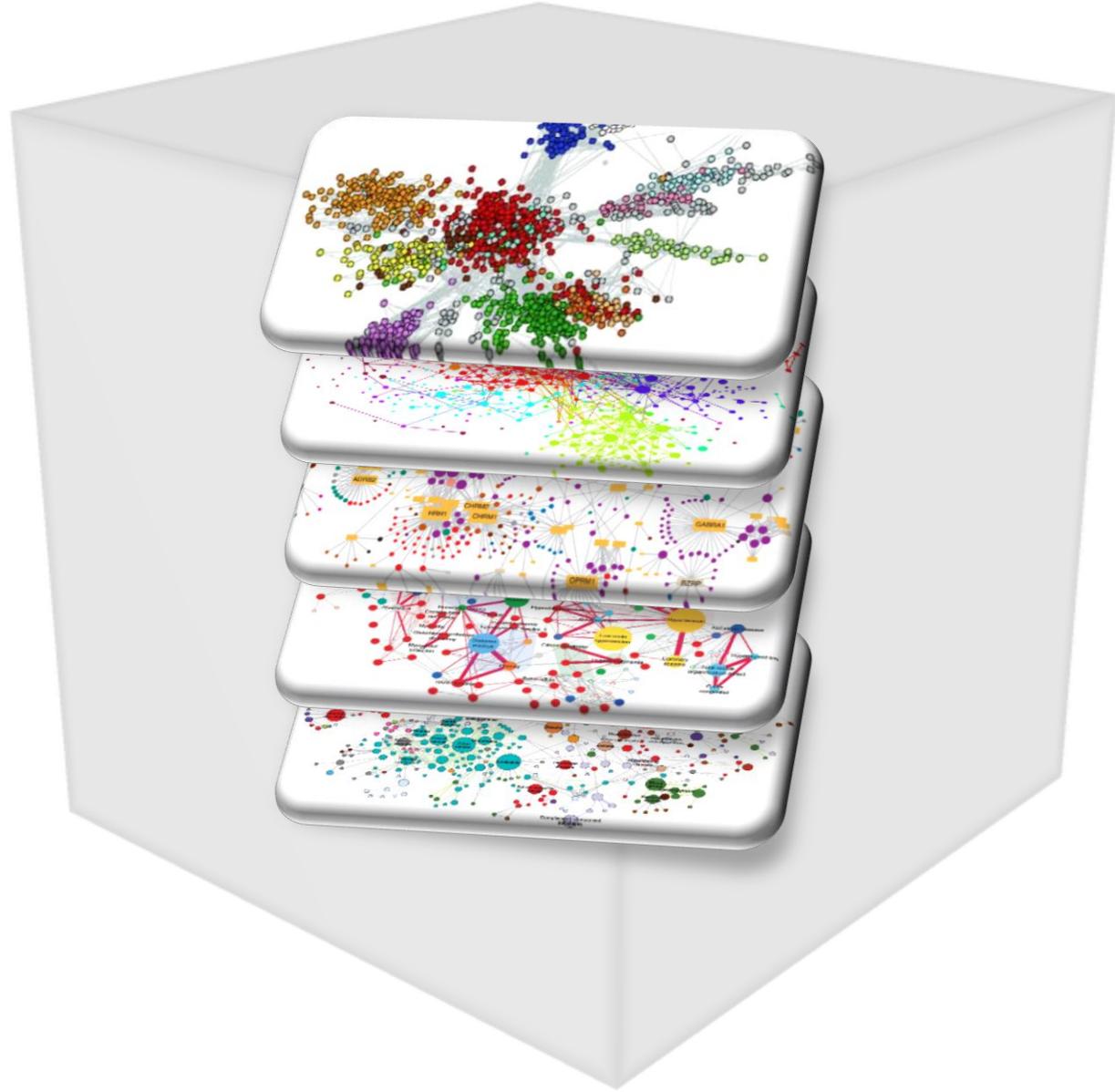
- Ein regelbasiertes maschinelles Lernverfahren „entdeckte“ folgende Korrelation in einem Datensatz von ~15000 Pneumonie Patienten:
„Patienten mit Geschichte von Asthma haben niedrigeres Sterberisiko bei einer Pneumonie im Vergleich zur allgemeinen Bevölkerung“
- Computer lernt Regel: „Asthma → Geringere Mortalität bei Pneumonie“
- Wirklich?

Das Ende des Verstehens?

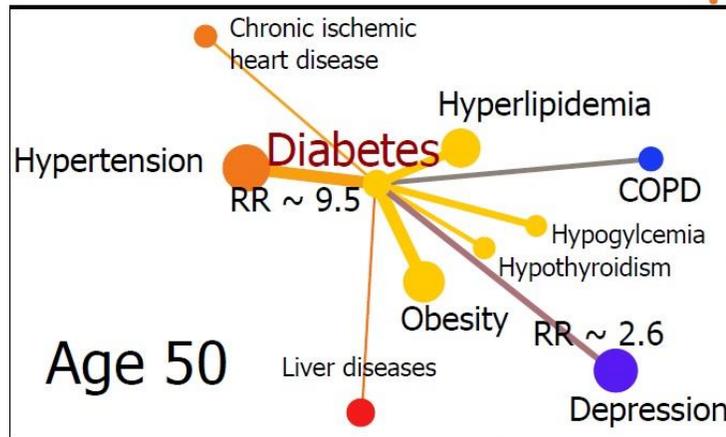
- Ein regelbasiertes maschinelles Lernverfahren „entdeckte“ folgende Korrelation in einem Datensatz von ~15000 Pneumonie Patienten:

„Patienten mit Geschichte von Asthma haben niedrigeres Sterberisiko bei einer Pneumonie im Vergleich zur allgemeinen Bevölkerung“
- Computer lernt Regel: „Asthma → Geringere Mortalität bei Pneumonie“
- Tatsächlicher Prozess: Patienten mit bekanntem Asthma wurden bei Einlieferung häufiger direkt auf Intensivstation gebracht → Korrelation ergibt sich aus erhöhter Vigilanz...





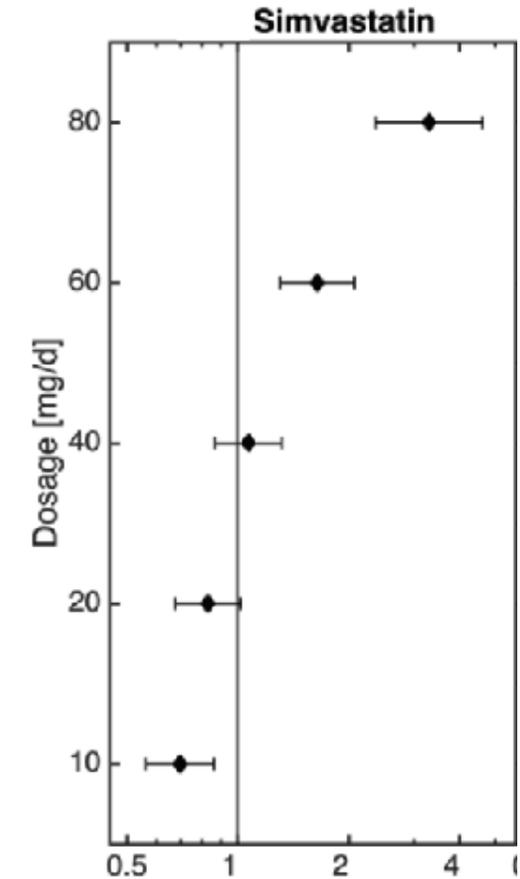
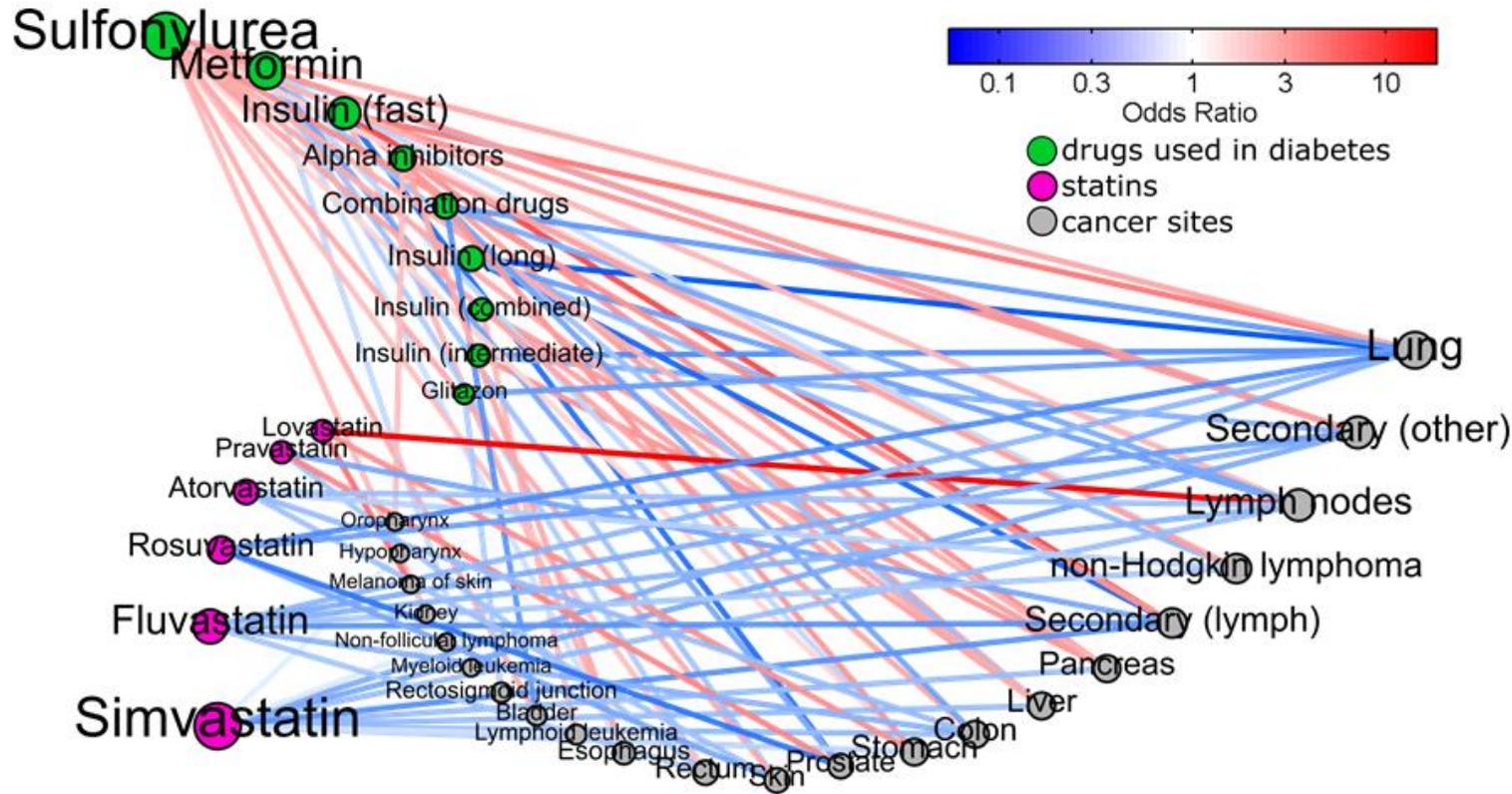
Vorhersagen



Female Age 40

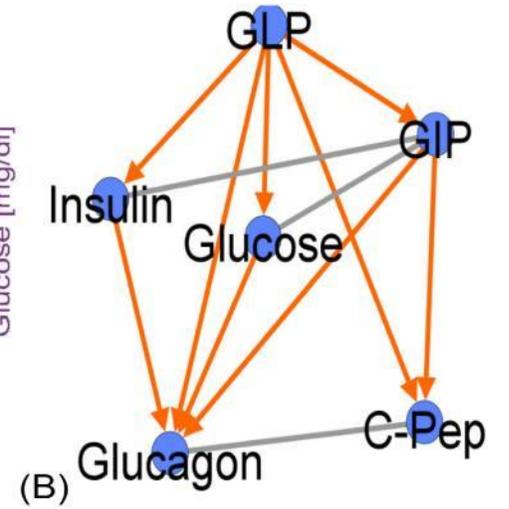
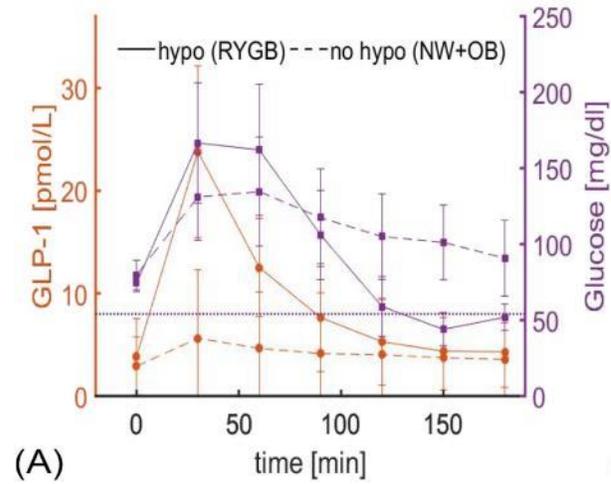
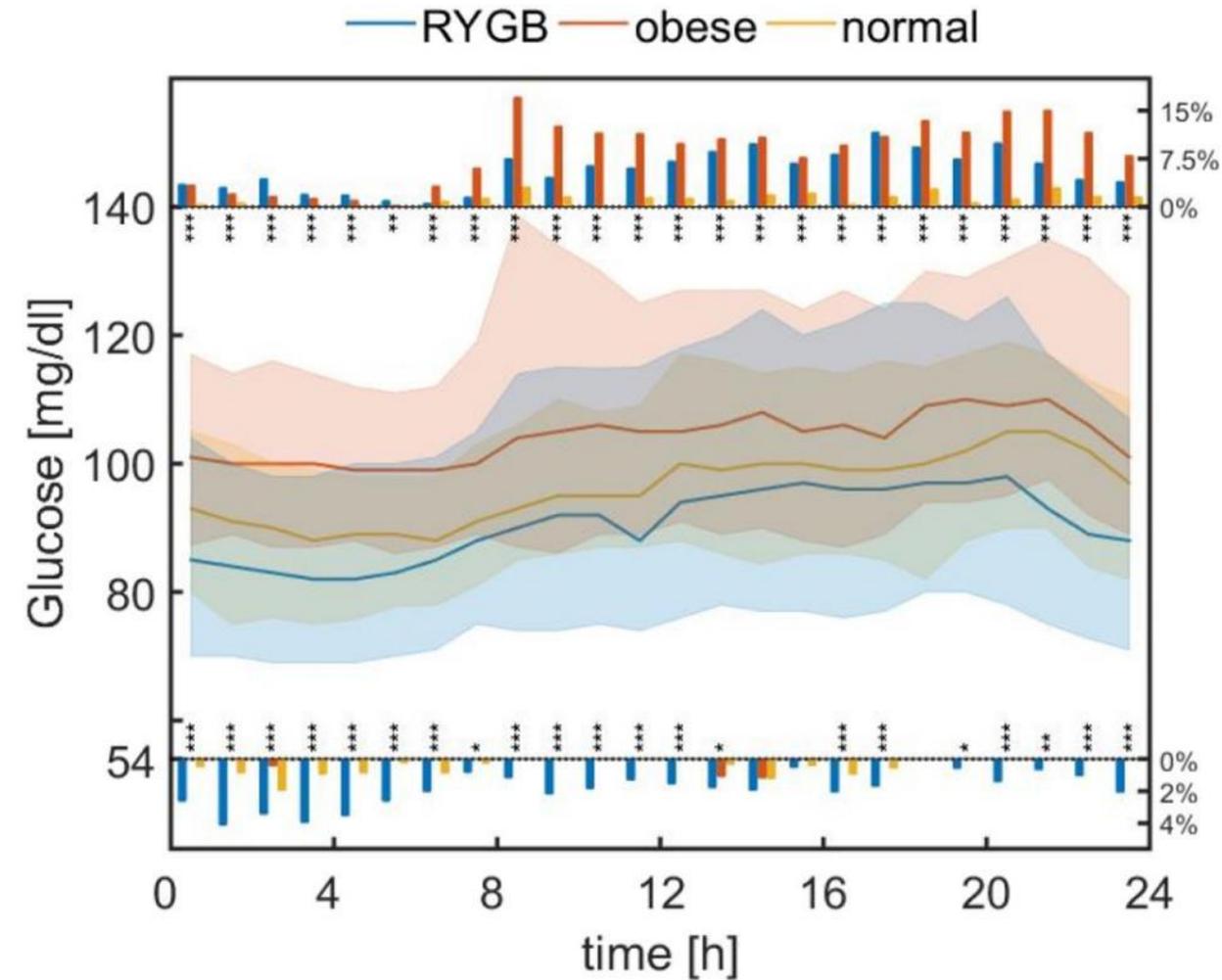
85%-95% der Krankheitsinzidenzen innerhalb der nächsten zehn Lebensjahre können extrapoliert werden

Nebenwirkungen



Kautzky-Willer A, Thurner S, Klimek P, J Internal Medicine 281, 206-16 (2017);
 Leutner M, Matzhold C, Bellach L, Deischinger C, Harreiter J, Thurner S, Klimek P,
 Kautzky-Willer A, Ann Rheum Dis 78, 1706-11 (2019)

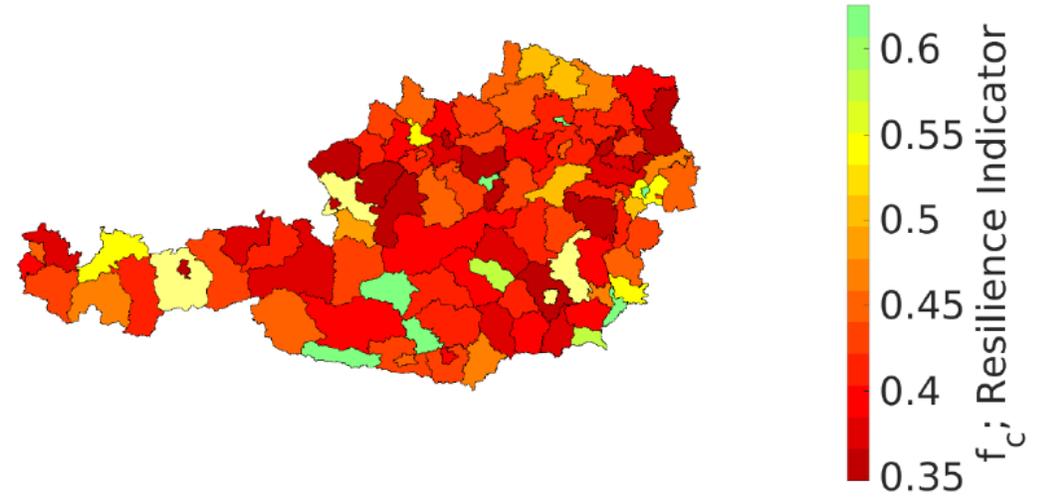
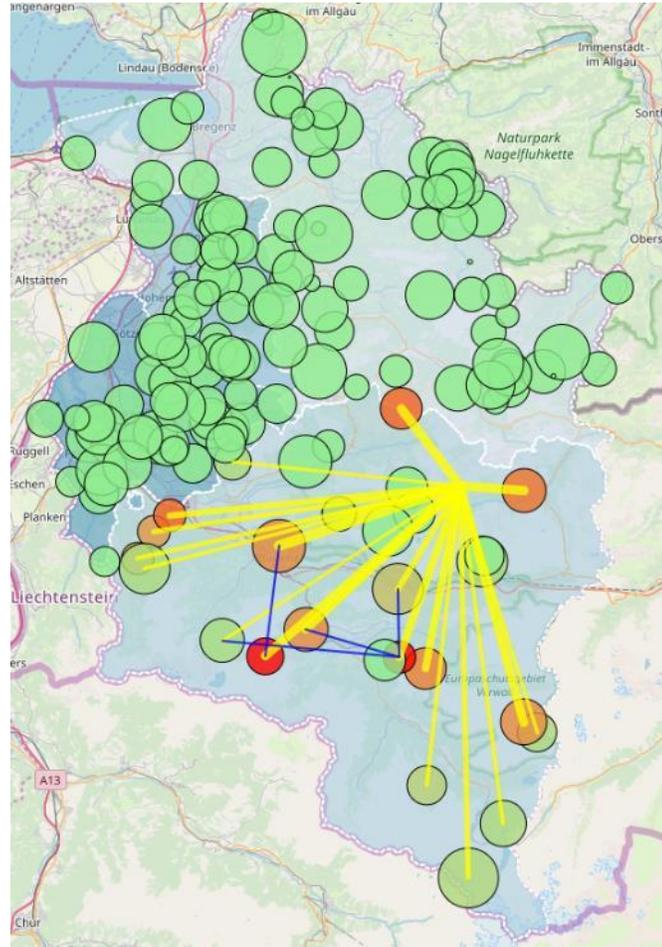
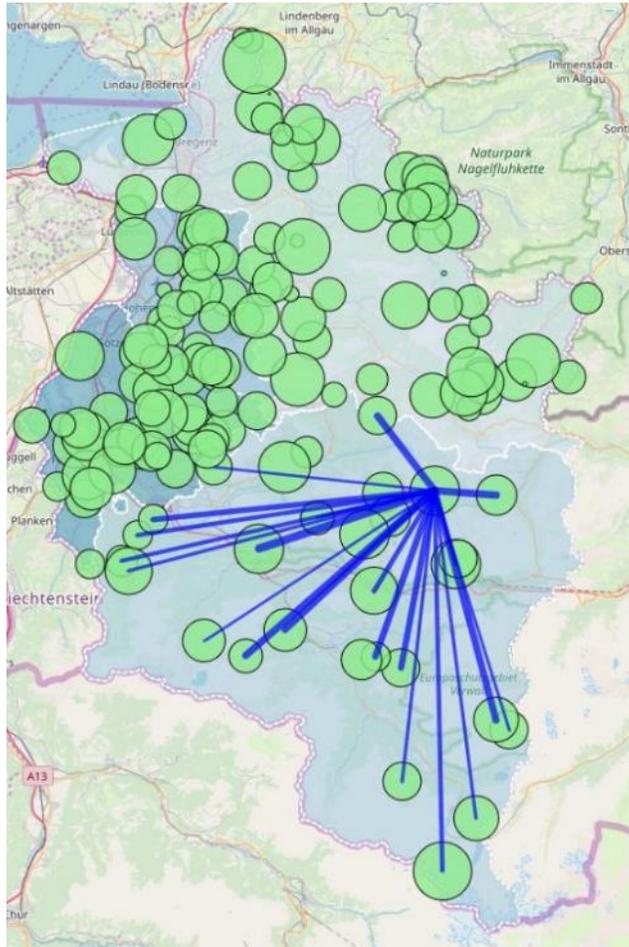
Healthcare 4.0



Messung von Veränderungen im Stoffwechsel mit Hilfe von in vivo Sensor Daten

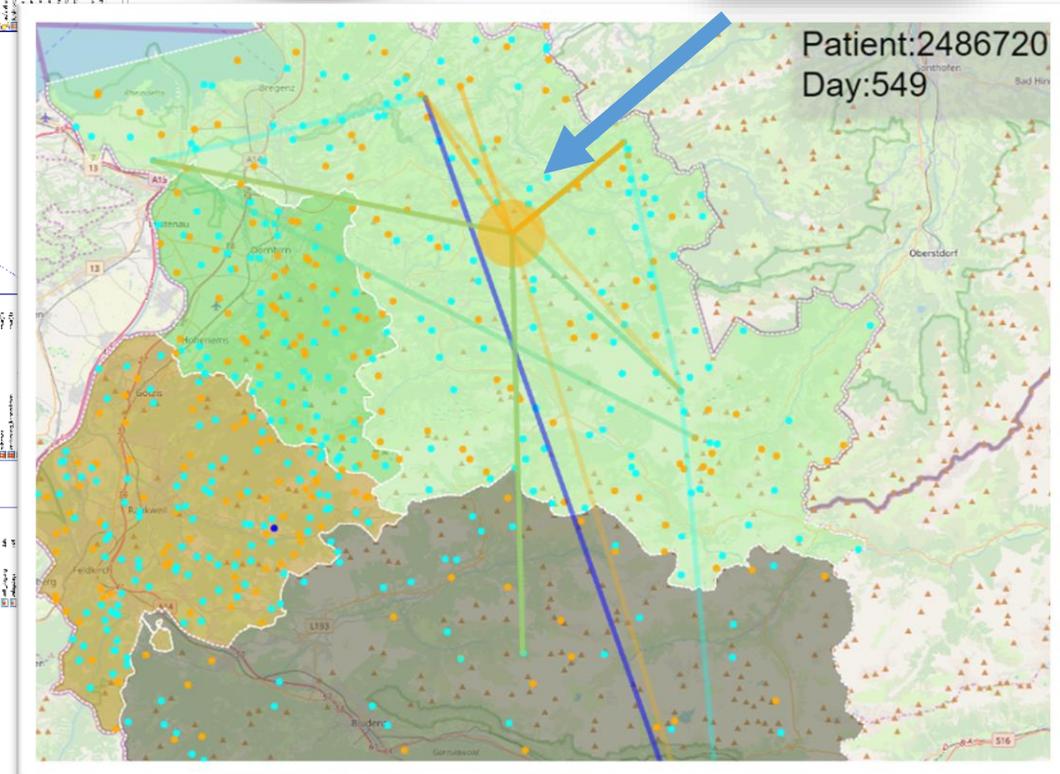
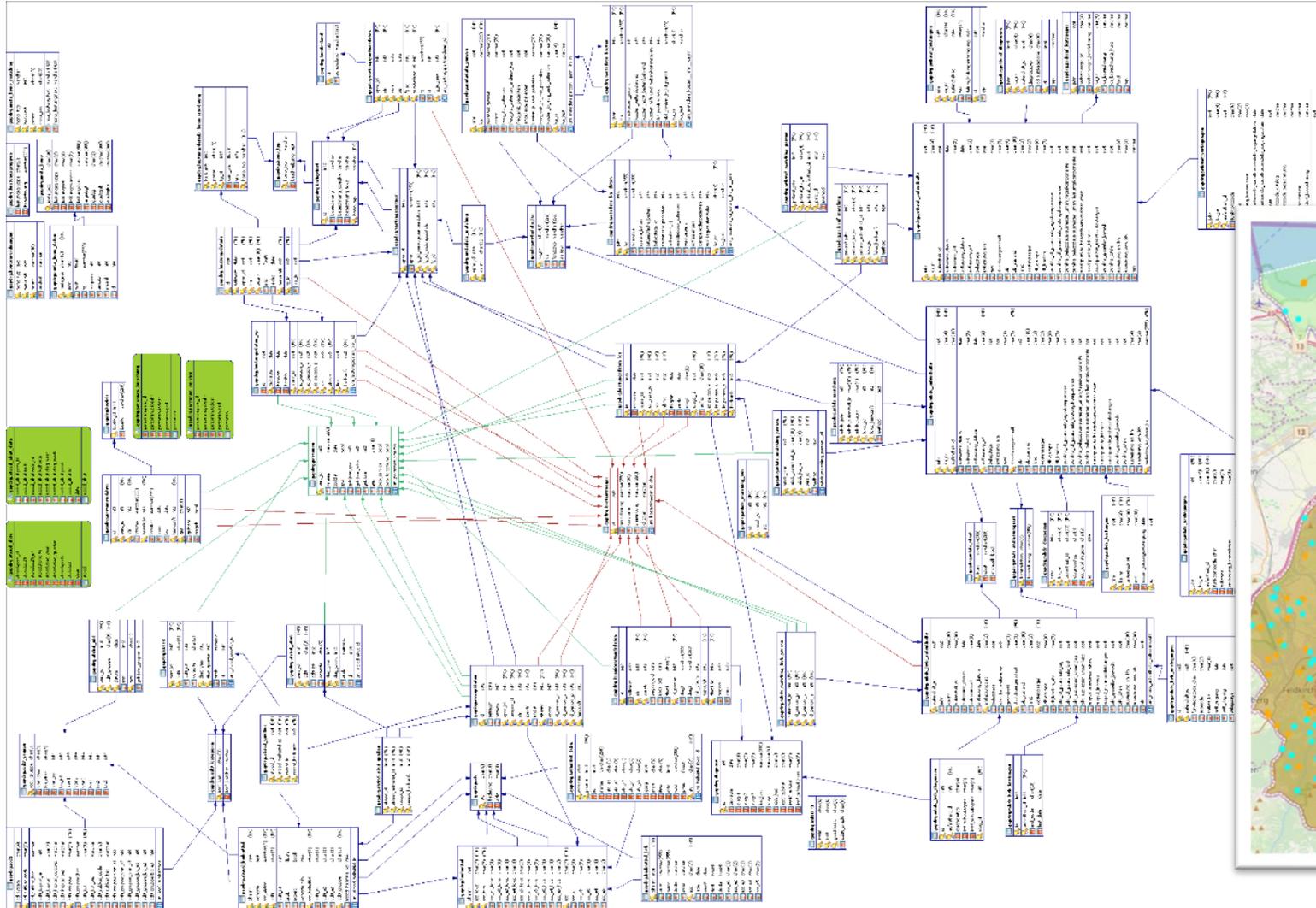
Leutner M, Klimek P, et al, Metabolism 91, 10-17 (2018)

Ärzttemangel



Lo Sardo R, Thurner S, Sorger J, Duftschmid G, Endel G, Klimek P, PNAS 116(48):23930-5 (2019)

Vision: Digitaler Zwilling des Gesundheitssystem



BEISPIEL II: FINANZ & WIRTSCHAFT

Medizin & Gesundheit

Patientenströme

Krankheitsverläufe

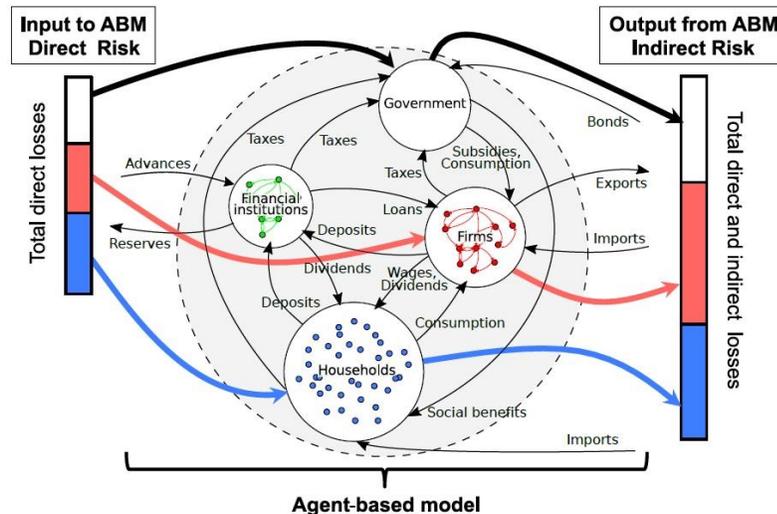
Therapien

Metabolische Prozesse

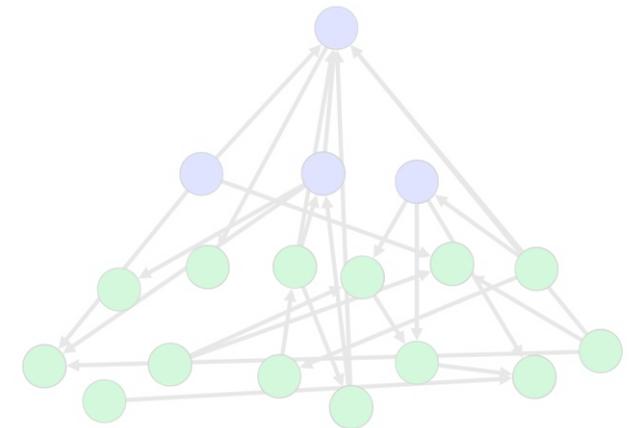
Genetische Prozesse



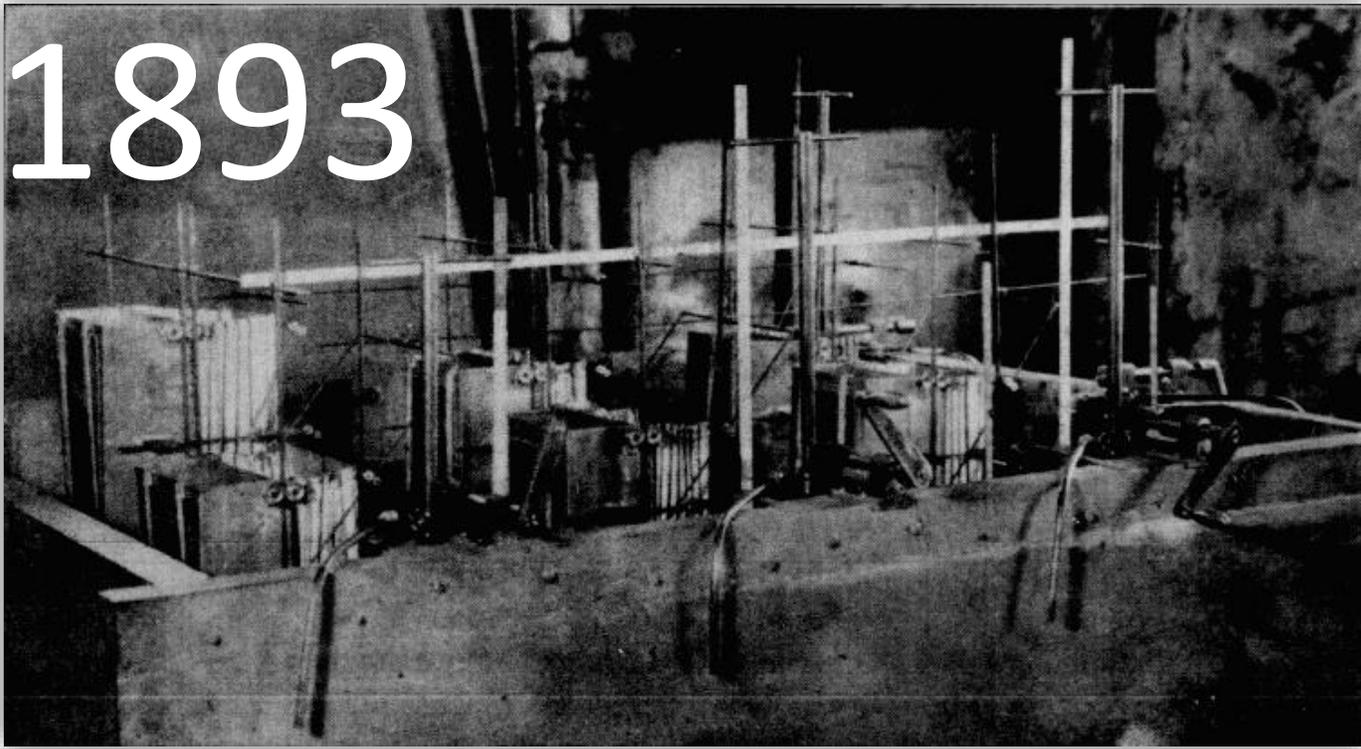
Finanz & Wirtschaft



Organisationen & Institutionen



1893



Ursprünge von „Computern“ in der
Simulation von Märkten

1949



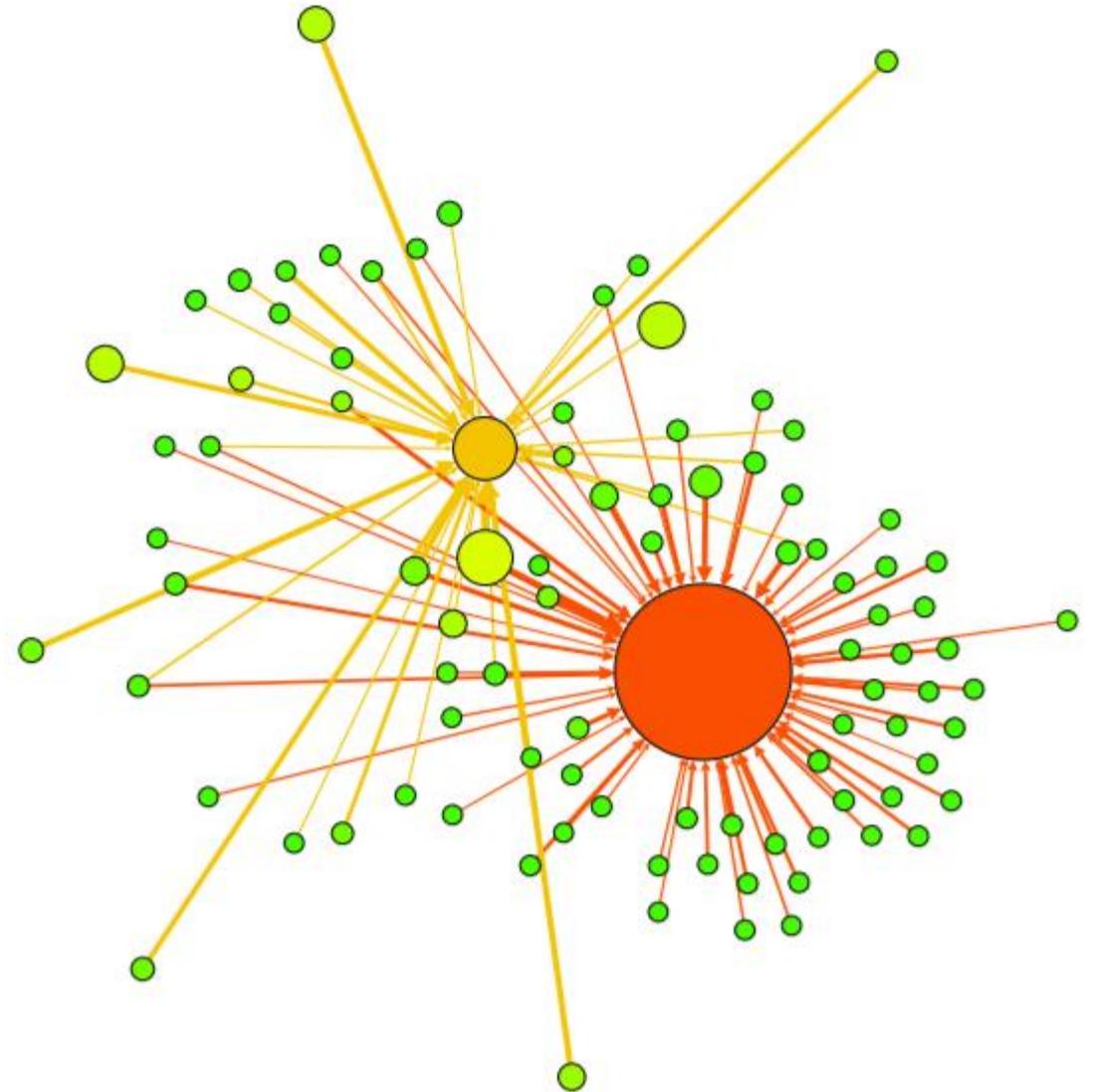
Systemisches Risiko

- Risiko, dass ein signifikanter Teil des (Finanz-) Netzwerks bankrott geht.
- Systemisches Risiko ist *nicht* Ausfallsrisiko.
- Banken und Zentralbanken regulieren und monitoren Ausfallsrisiko
- Haben keinen incentive und keine Möglichkeit ihr systemisches Risiko zu managen.

- Systemisches Risiko ist ein Netzwerkeffekt.

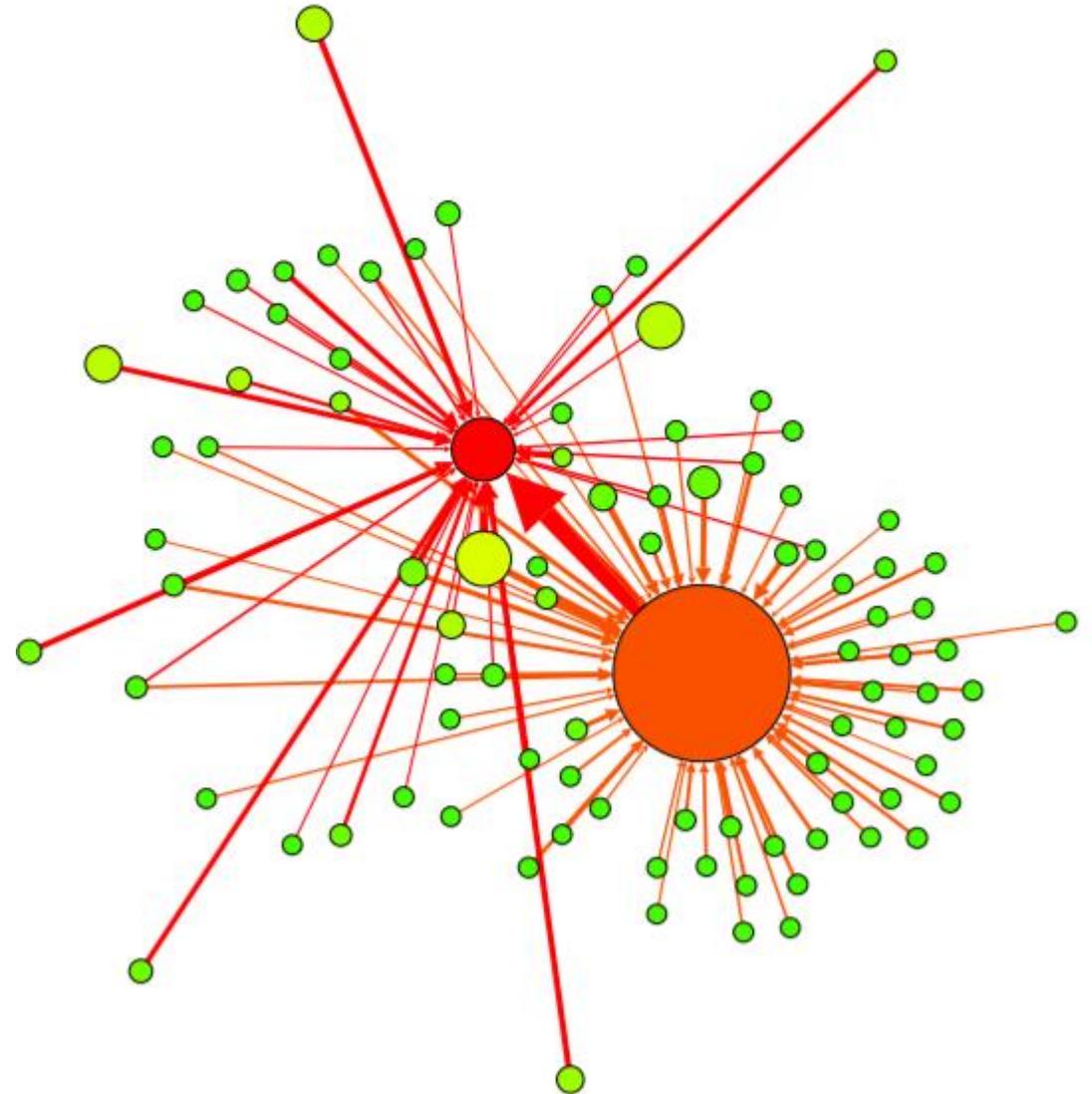
Systemisches Risiko als Netzwerkeffekt

- Knoten = Banken
- Verbindungen = Wer gibt wem wieviel Kredit?
- Größe des Knoten = Kapital der Bank
- Farbe = wieviel an Wert geht im System bei einem hypothetischen Ausfall verloren?
- Füge einen weiteren Kredit hinzu....



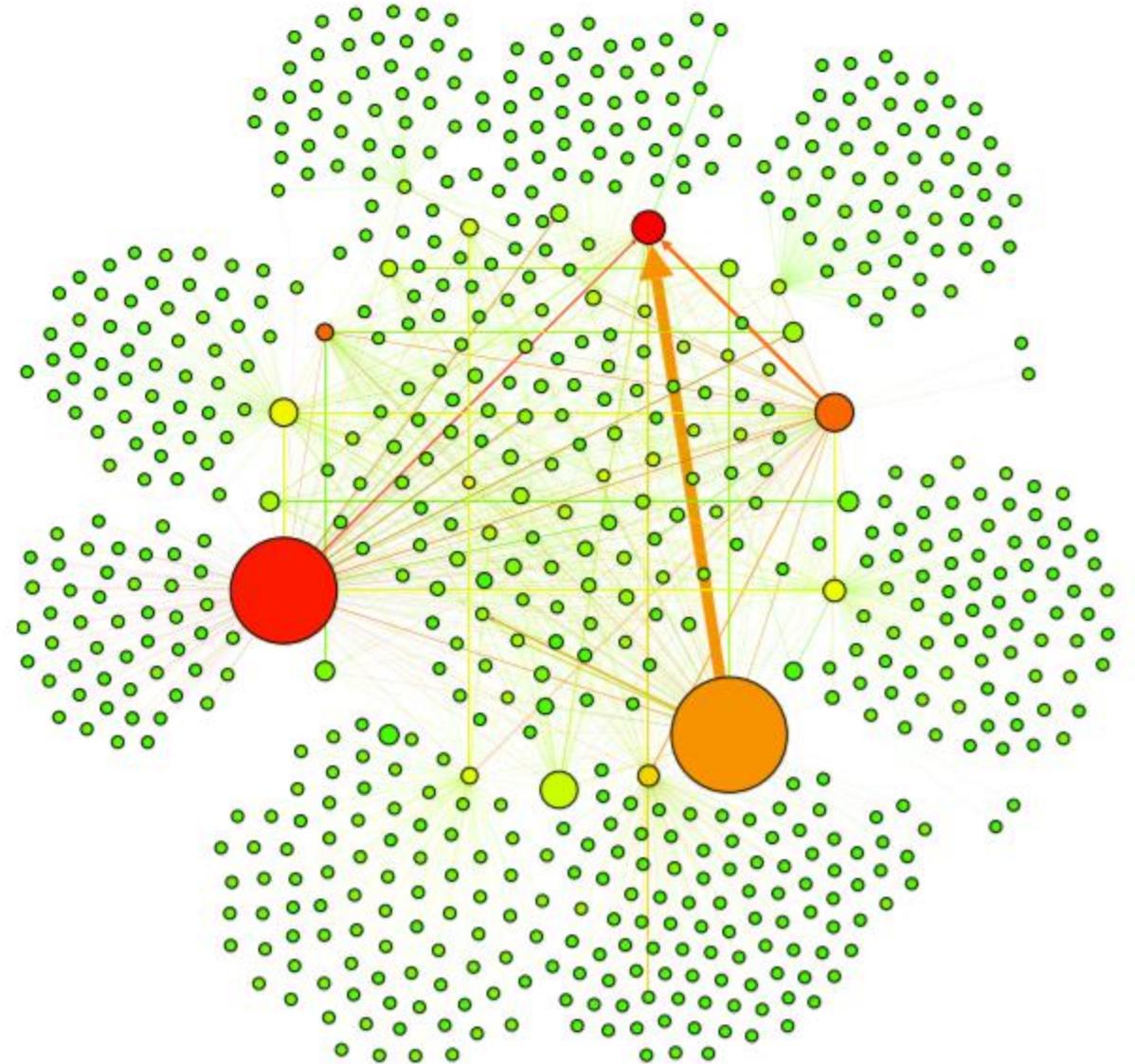
Systemisches Risiko als Netzwerkeffekt

- Knoten = Banken
- Verbindungen = Wer gibt wem wieviel Kredit?
- Größe des Knoten = Kapital der Bank
- Farbe = wieviel an Wert geht im System bei einem hypothetischen Ausfall verloren?
- Füge einen weiteren Kredit hinzu....

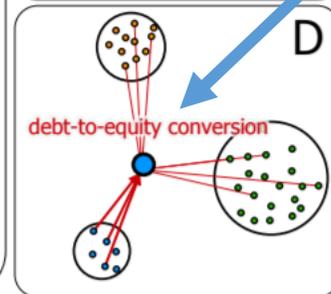
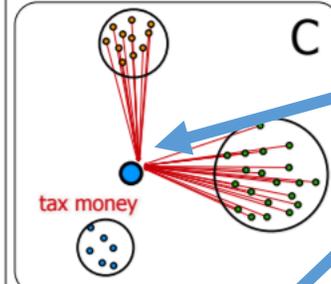
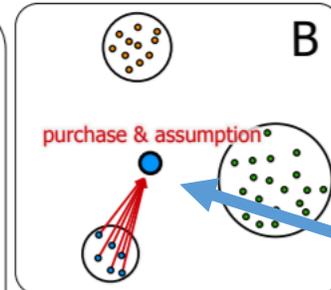
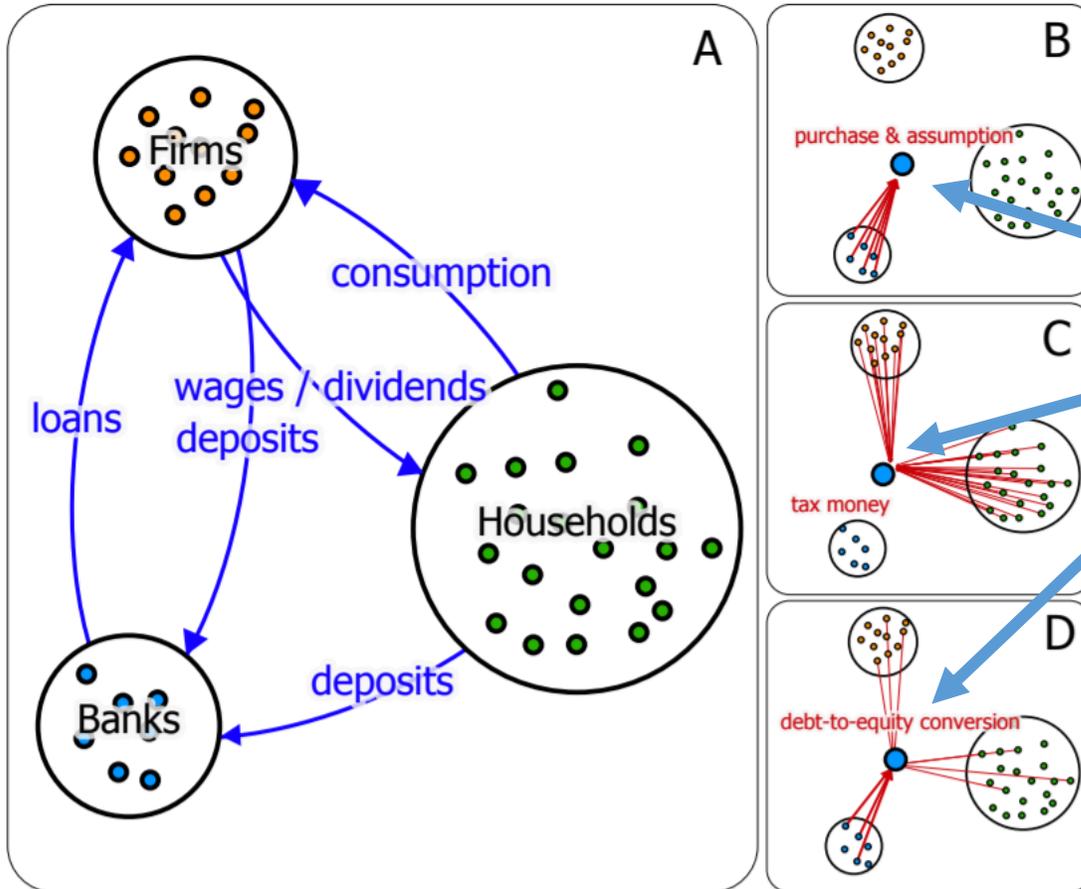


Österreichisches Bankennetzwerk 09/2009

- Beachte: Größe ist nicht proportional zu systemischem Risiko!
- Angenommen eine bestimmte Bank (hypothetisch...) würde in diesem Netzwerk knapp vor dem Kollaps stehen...
- Wer soll dafür zahlen?



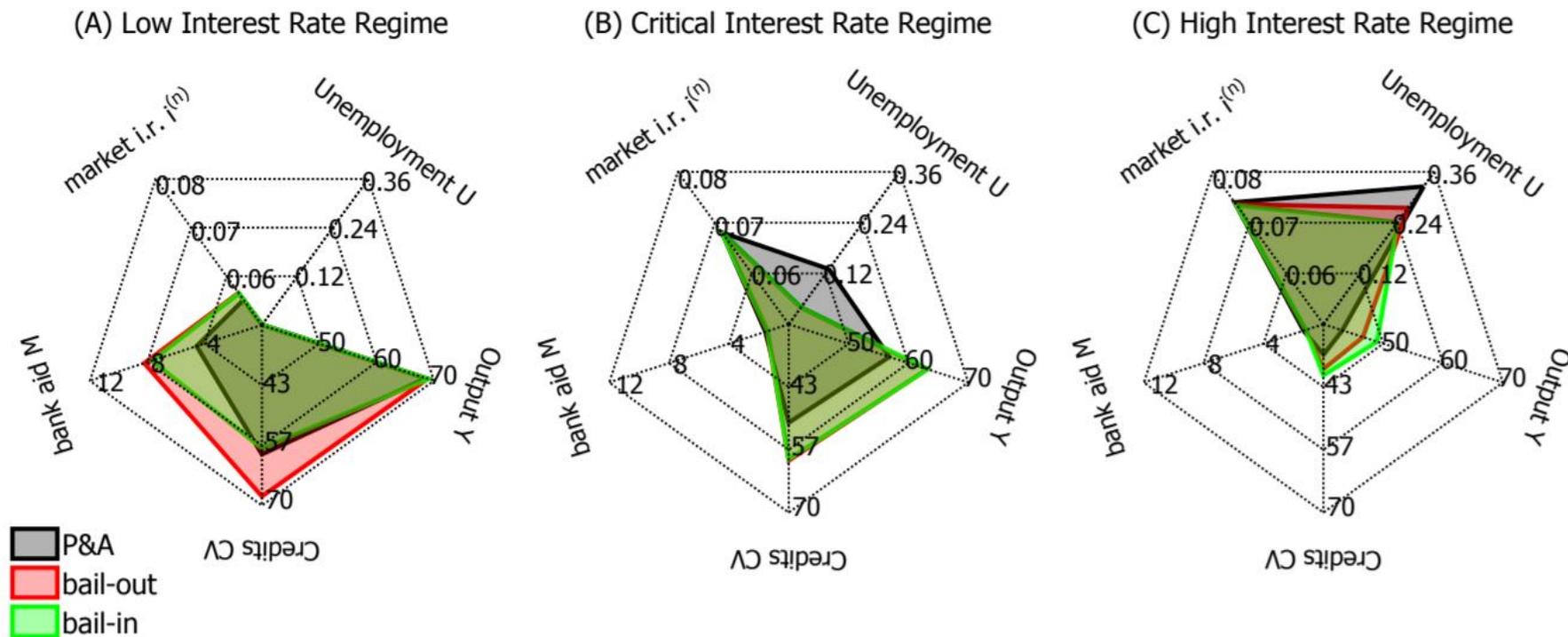
Kopple Finanz- mit Wirtschaftsmärkten



- Wer soll für Bankenausfälle (zB Hypo) zahlen?
- Der Bankensektor?
- Der Steuerzahler (bail-out)?
- Die alten und neuen Besitzer (bail-in)?

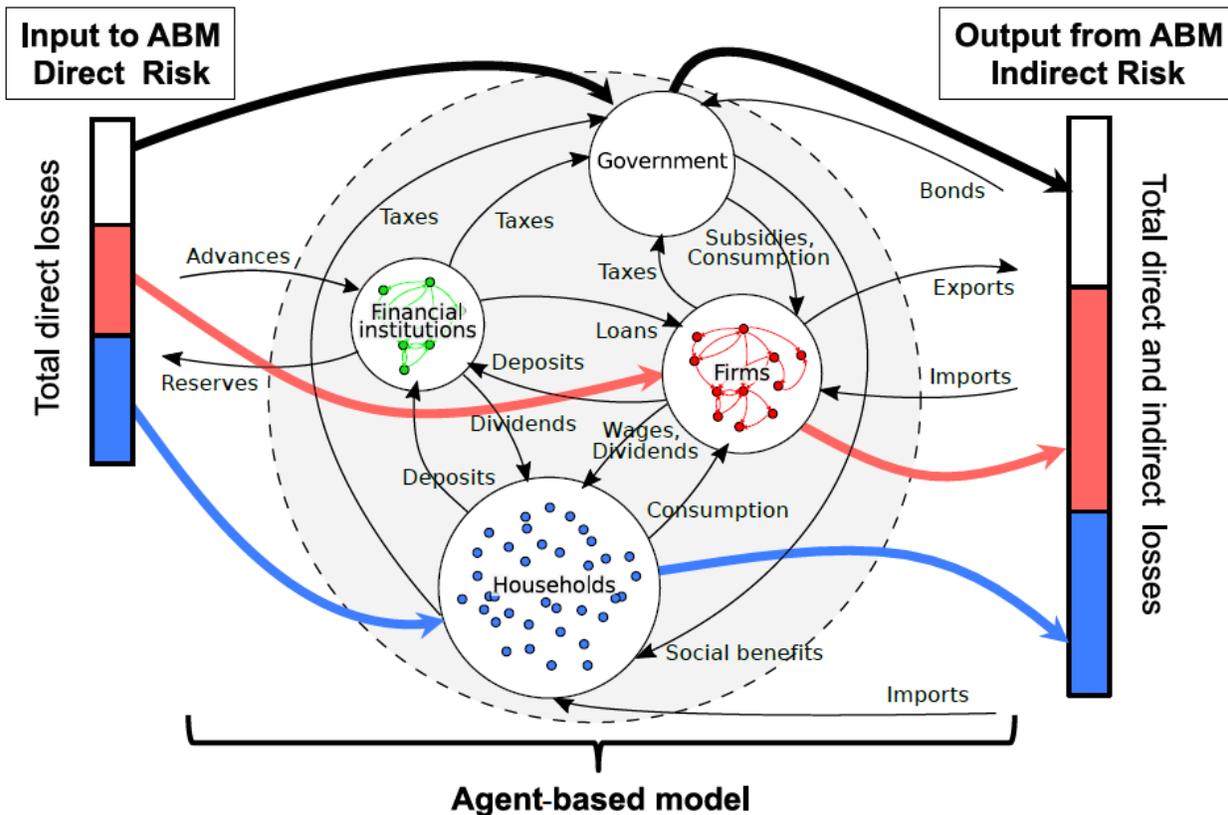
→ Kann Szenarien im Modell durchspielen und benchmarken

Kopple Finanz- mit Wirtschaftsmärkten



Antwort: hängt vom Zustand der Wirtschaft ab, aber bail-out immer die schlechteste Variante.

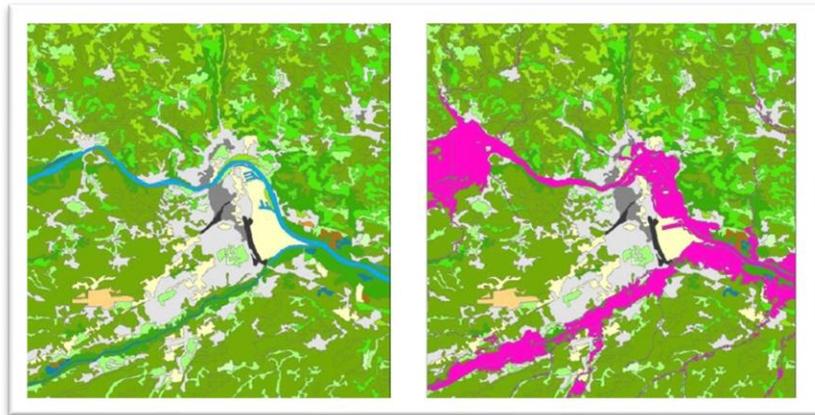
1:1 Modell zur Simulation von Naturkatastrophen



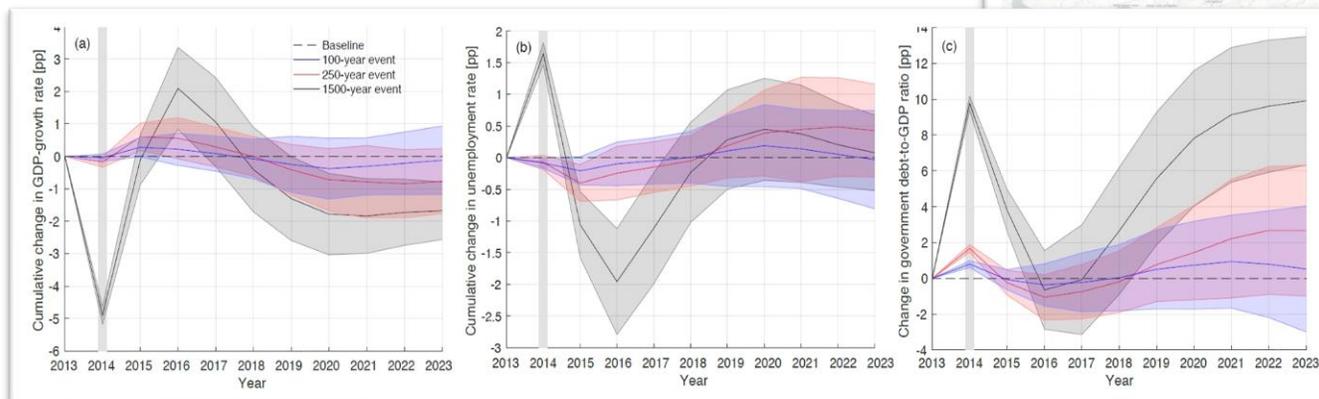
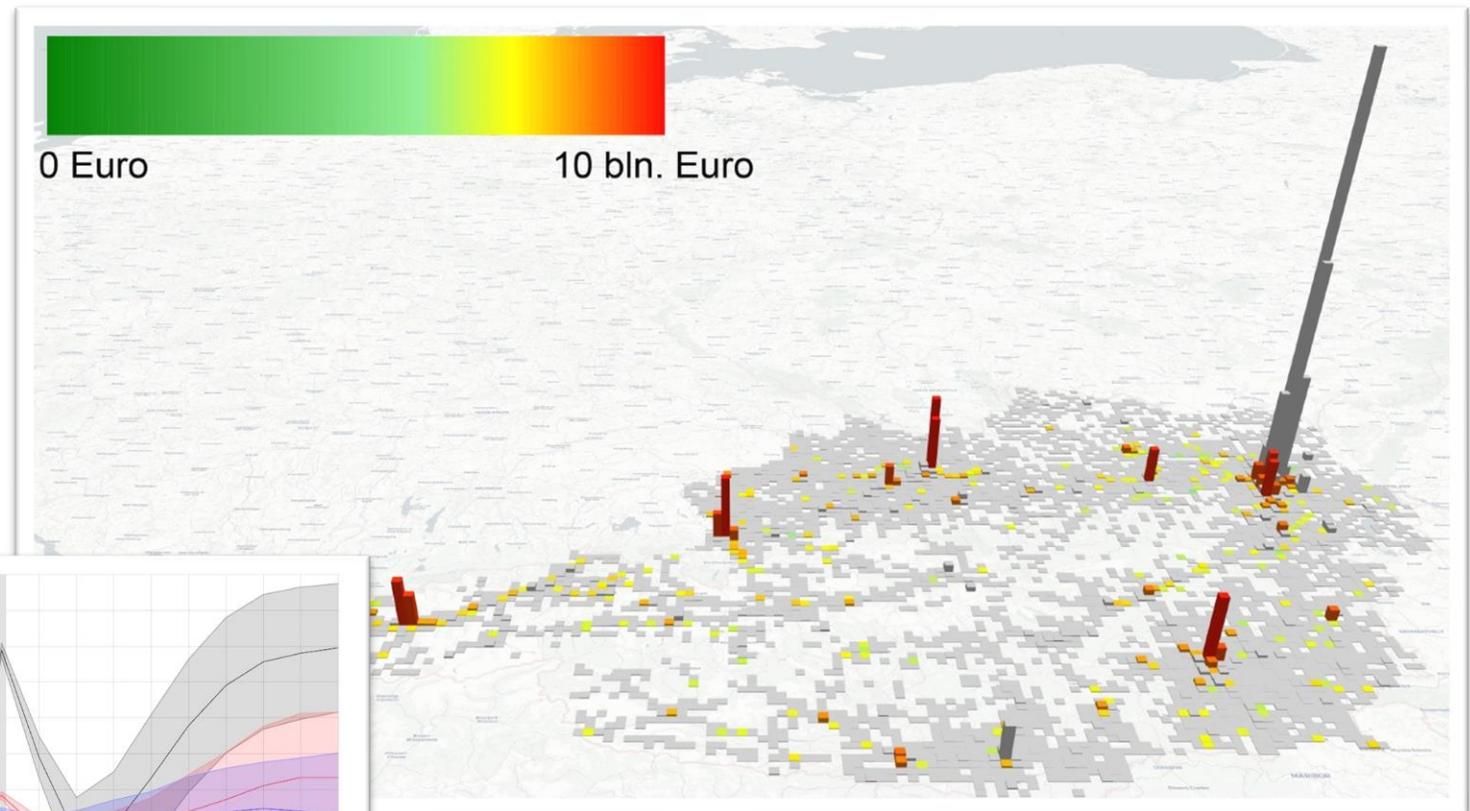
- Simulator im Maßstab 1:1 für österreichische Wirtschaft
- Jeder Haushalt, jede Firma, jede Bank im Modell as „Avatar“ repräsentiert.
- Alle Geld- und Handelsflüsse auf Basis von Daten abgebildet (bzw modelliert)

1:1 Modell zur Simulation von Naturkatastrophen

Schritt 2: ermittle direkten wirtschaftlichen Schaden



Schritt 1: simuliere Überschwemmung



Schritt 3: modelliere indirekte Folgeschäden

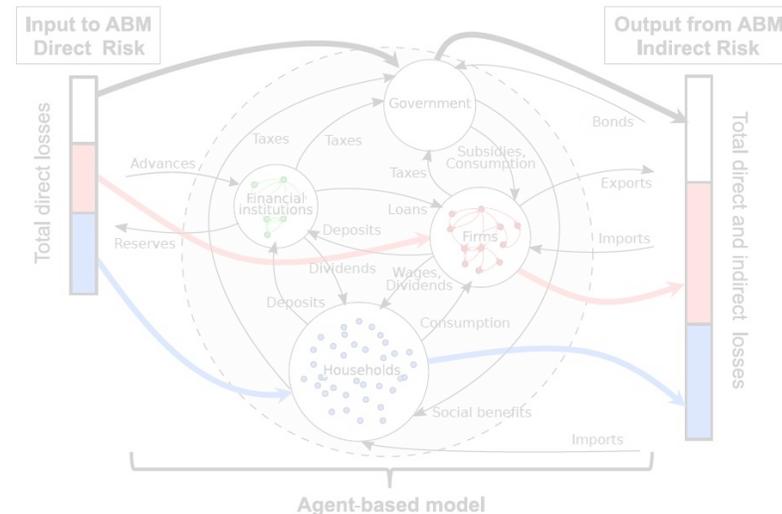
Poledna S, Hochrainer-Stigler S, Miess M, Klimek P, Schmelzer S, et al (2018). When does a disaster become a systemic event? *arXiv*.

BEISPIEL III: ORGANISATIONEN & INSTITUTIONEN

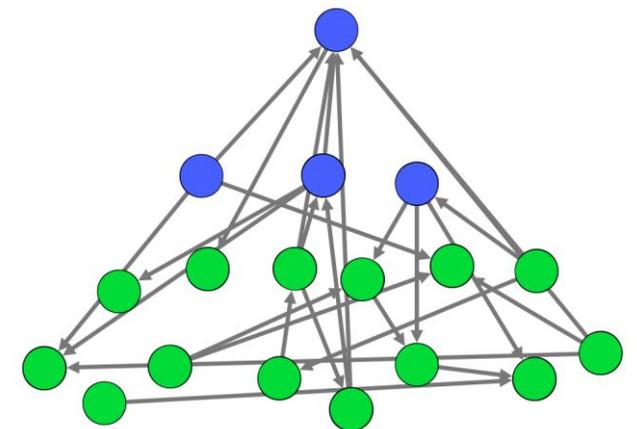
Medizin & Gesundheit



Finanz & Wirtschaft



Organisationen & Institutionen



Organisationen als Komplexe Systeme

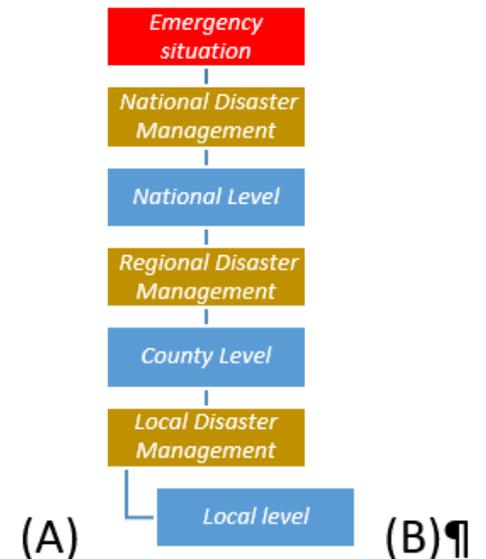
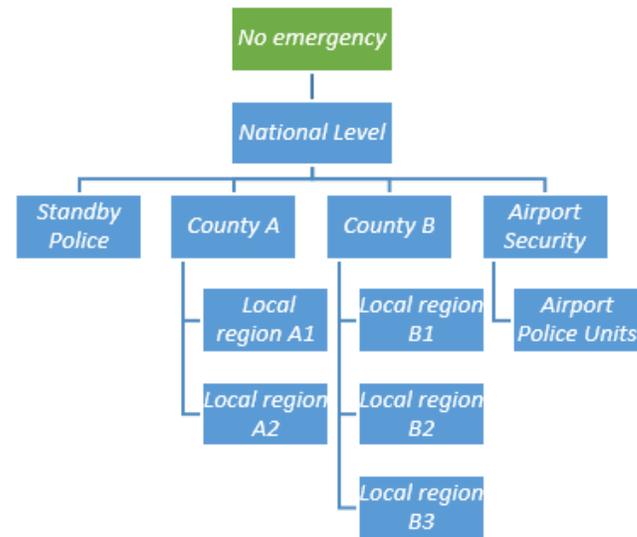
- Entsprechen meine Kommunikationsstrukturen tatsächlich meinem Organigramm?
- Welche Departments gibt es in Wirklichkeit?
- Wo treten bottlenecks in der Kommunikation auf, wo fließt Information effizient?
- Wie resilient ist meine Struktur?
- Gegeben meiner tatsächlichen Struktur, welche minimalen lokalen Interventionen liefern global gesehen optimale Ergebnisse?
- Wie effektiv waren meine Interventionen tatsächlich?

Beispiel: Nationale Sicherheitsdrills in Ungarn

- Jedes Jahr findet eine komplexe Sicherheitsübung organisiert von der National University of Public Service in Ungarn statt.
- Innerhalb dieser Übungen werden komplexe Szenarien realitätsnah durchgespielt mit ca 1,000 Teilnehmern
 - 2016: Extremes Wetter, table-top exercise
 - 2018: Giftgasanschlag auf Budapester Flughafen, full-scale exercise
- Dabei werden die Aktivitäten der Teilnehmer umfassend aufgezeichnet: Kommunikationsflüsse, Lokalisation mittels RFID tags, CCTV mit automatischer Bilderkennung, ...

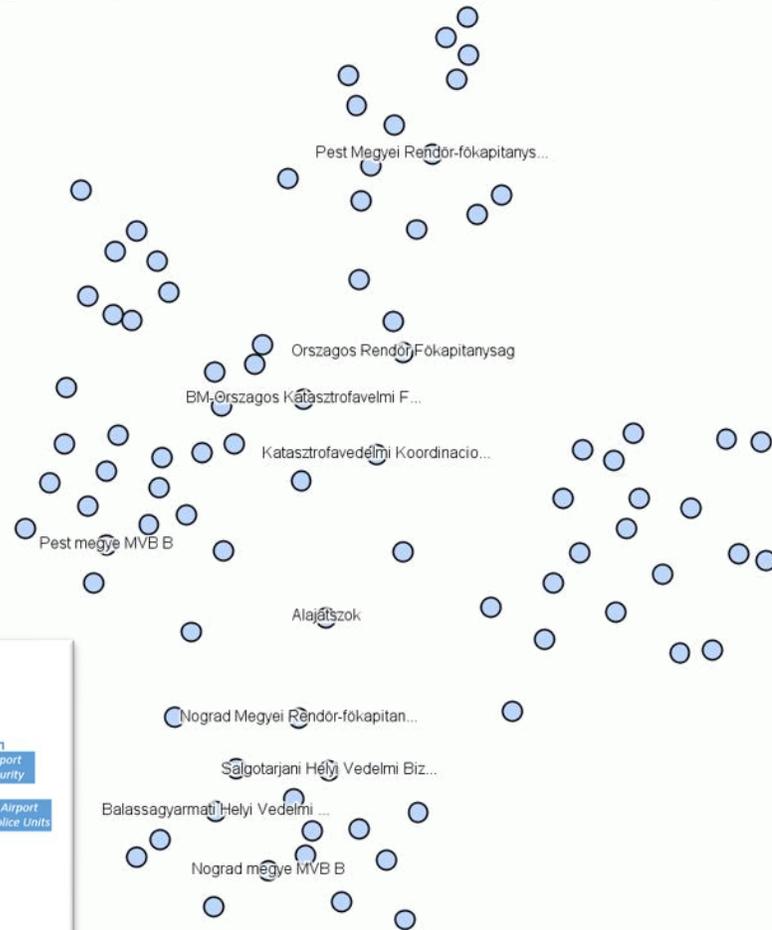
Kommunikationsnetzwerke von Organisationen

- Übung mit ca 1,000 Teilnehmern (Studenten & führende Offiziere) eingeteilt in 90 Organisationen.
- Diese Organisationen hatten ca. 90 vorgegebene Aufgaben durch Koordination und Kooperation untereinander zu erfüllen.
- ~5,000 Kommunikationsflüsse
- Übung dauerte über 2 Tage.
An jedem wurden unterschiedliche Hierarchien vorgegeben (Notfall: ja – nein).

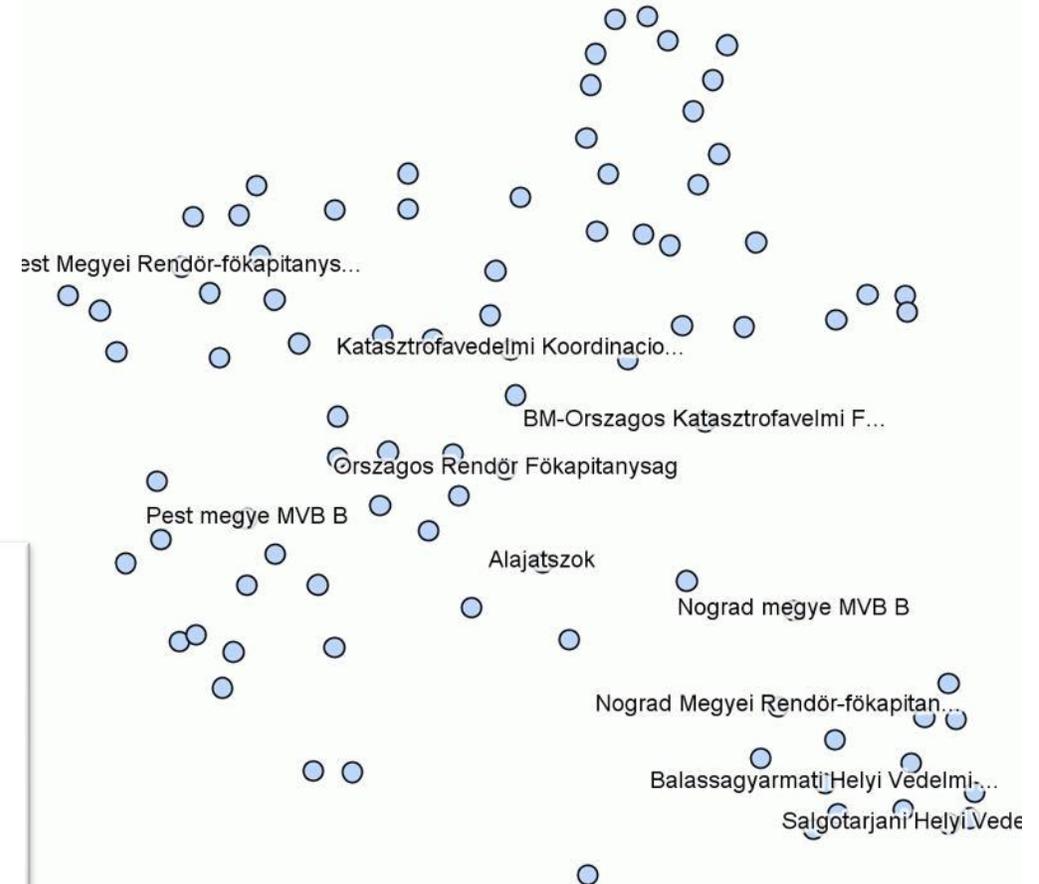


Kommunikationsnetzwerke von Organisationen

Tag 1 (vorbereitete Events)



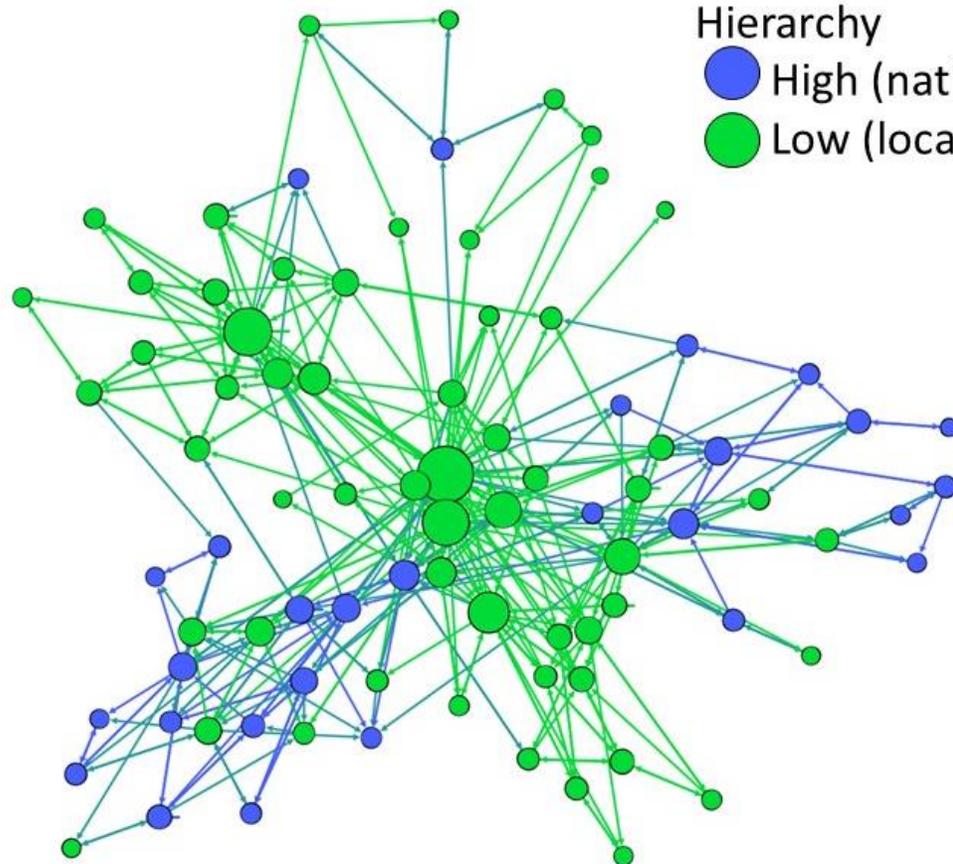
Tag 2 (unvorbereitet)



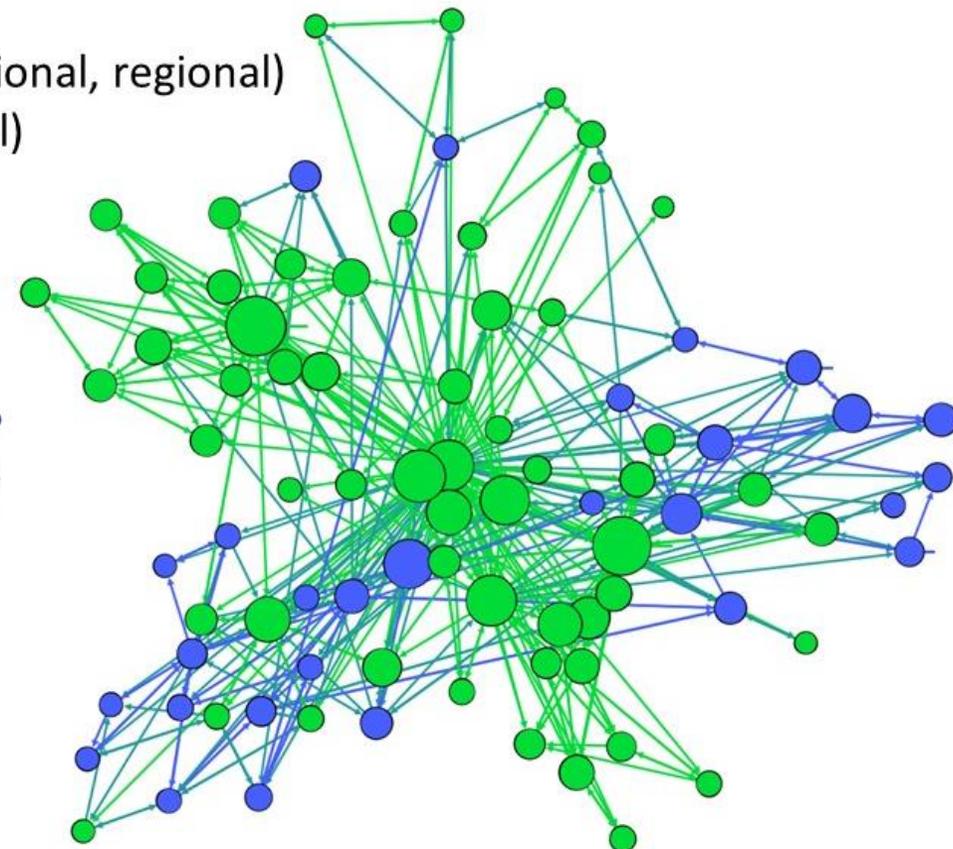
Klimek, Székely, Varga, Jovanovic, Quantitative resilience assessment in emergency response reveals how organizations trade efficiency for redundancy (2018), *Safety Science*.

Zusammenfassung der Flüsse, Darstellung der Hierarchieebenen

Tag 1 (vorbereitete Events)



Tag 2 (unvorbereitet)



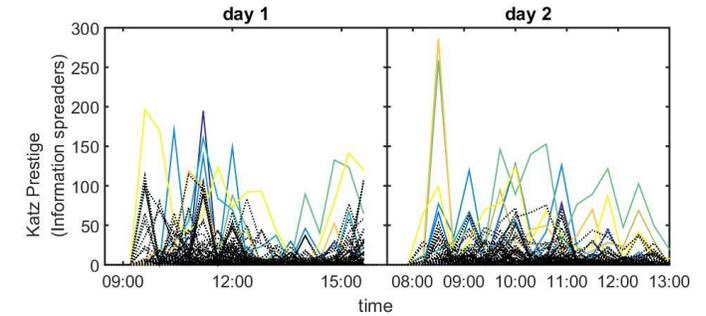
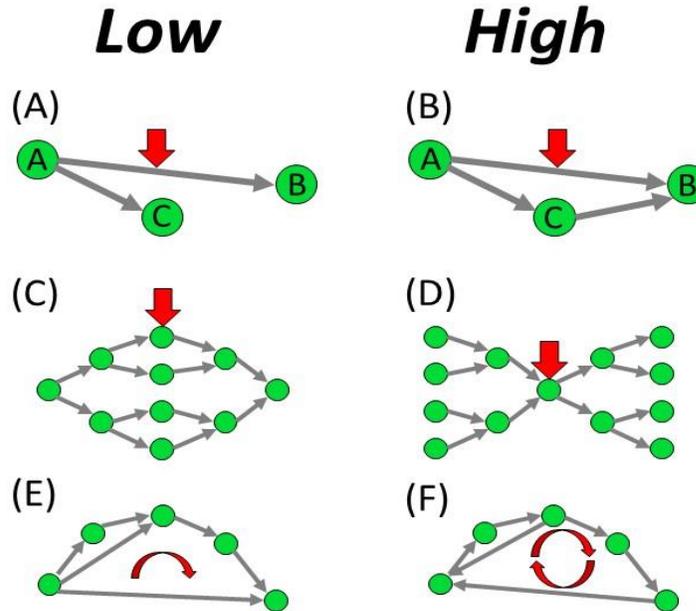
Kommunikationsnetzwerke von Organisationen

Measure

Redundancy
Clustering Coefficient

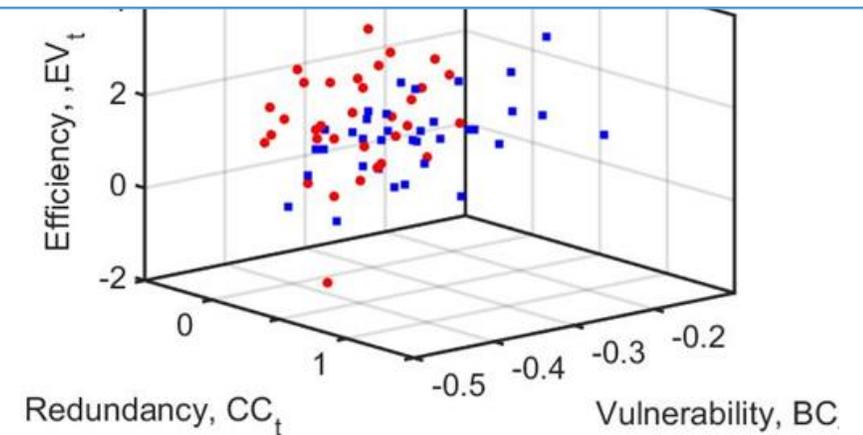
Vulnerability
Betweenness Centrality

Efficiency
Principal Eigenvalue, Katz Prestige



Wer nahm wann welche Rolle ein?

Wie gut/resilient funktionierte das System insgesamt?

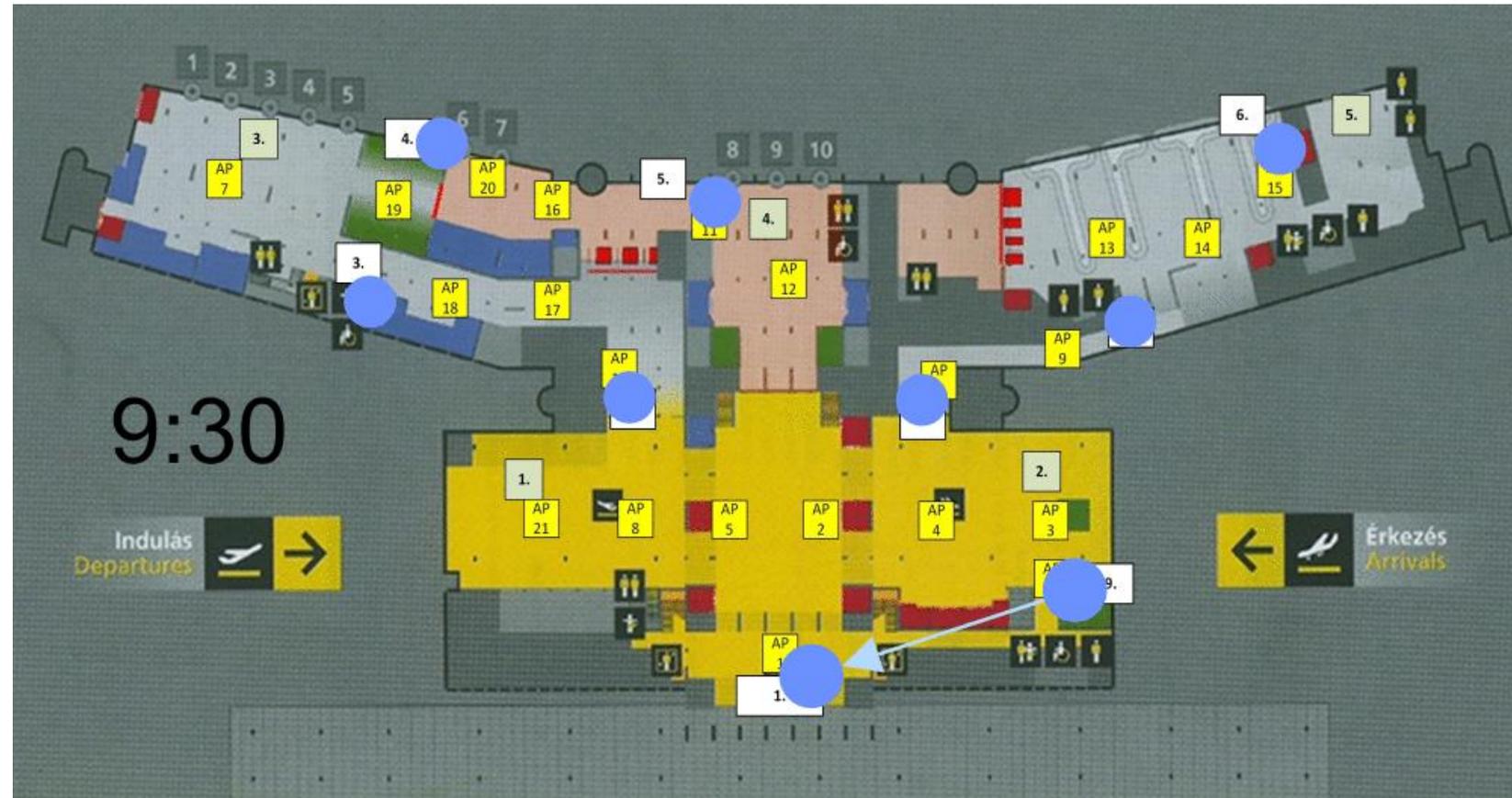


Hierarchy Level	Redundancy, CC_i^{adj}	Vulnerability, BC_i^{adj}	Efficiency, KP_i^{adj}
High	Increases	Increases	Decreases (*)
Low	Increases	Increases	Increases

Personenströme in der Evakuierung eines Flughafens (3. Juli 2018)



Giftgasanschlag: ~1,000 Personen mussten zuerst aus dem Terminal evakuiert und dann wieder hineingeführt werden.
Quantifizierung der Flüsse mittels RFID tags (am Kapperl)



Person Flugha

Imprisoned In Myanmar

Energy & Environment

Brexit

North Korea

Charged: The Future of Autos

Future of Money

15. August 2018

WORLD NEWS AUGUST 15, 2018 / 10:55 PM / 2 MONTHS AGO

Budapest Airport terminal briefly shut due to hot isotope container

2 MIN READ



BUDAPEST (Reuters) - A terminal of Budapest Airport was briefly shut down late on Wednesday due to an overheated container carrying an isotope, a spokesman for the Hungarian Disaster Management Authority said.



Giftgasanschlag: ~1,0
mussten zuerst aus d
evakuiert und dann v
hineingeführt werde
Quantifizierung der F
RFID tags (am Kappe

Conclusio

- Zum ersten Mal in der Geschichte haben wir die reelle Chance Komplexe Systeme zu managen.
- Grundvoraussetzungen:
 - Solide Datenbasis (garbage in, garbage out)
 - Methodisches Know-How (Netzwerktheorie, dynamische Prozessmodellierung und Statistik Komplexer Systeme)
- Management Komplexer Systeme = Optimierung einer Vielzahl von querverbundenen Netzwerken.

Thank You!

