Physik der sozio-ökonomischen Systeme *mit dem Computer*

JOHANN WOLFGANG GOETHE UNIVERSITÄT
05.07.2024

MATTHIAS HANAUSKE

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

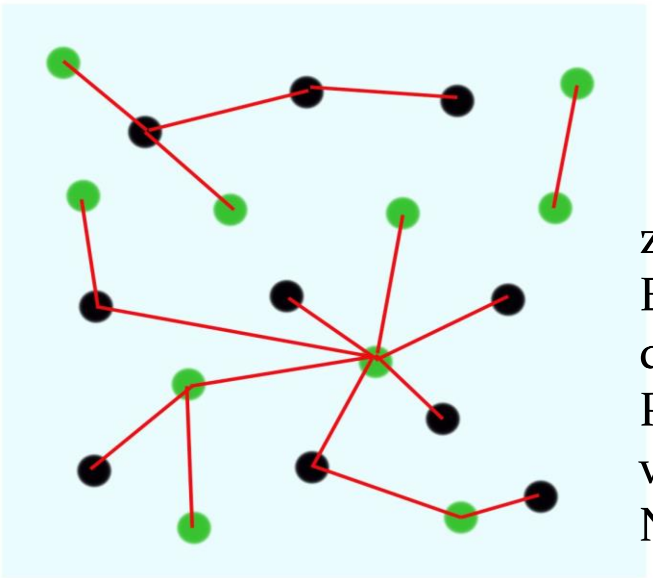
10. Vorlesung

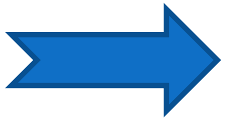
Plan für die heutige Vorlesung

- Evolutionäre Spieltheorie auf komplexen Netzwerken
  - Spiele auf einem räumlichen Netzwerk (Spatial Games)
    - Dominante (2 x 2)-Spiele auf einem räumlichen Gitter
    - Räumliche Koordinations- und Anti-Koordinationsspiele
  - Spiele auf vollständig verbundenen Netzwerken
  - Spiele auf zufälligen, „kleine Welt“ und skalenfreien Netzwerken
- Einführung in die Objekt-orientierte Programmierung

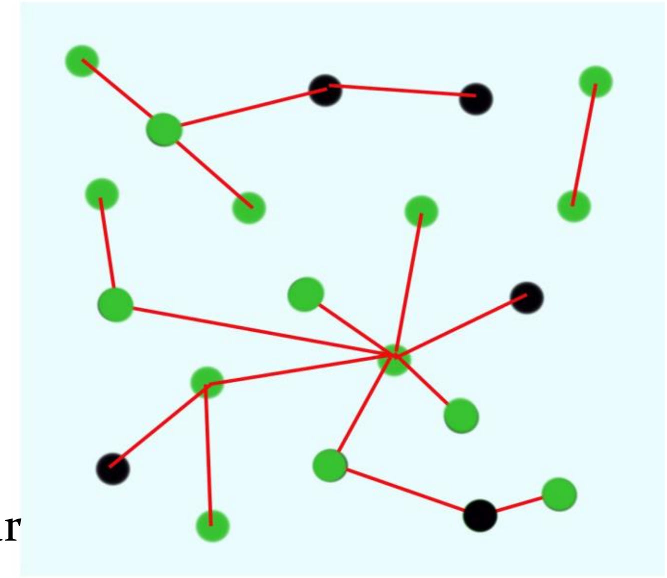
Evolutionäre Spieltheorie auf komplexen Netzwerken

Viele in der Realität vorkommende evolutionäre Spiele werden auf einer definierten Netzwerkstruktur (Topologie) gespielt. Die Spieler der betrachteten Population sind hierbei nicht gleichwertig, sondern wählen als Spielpartner nur mit ihnen durch das Netzwerk verlinkte (verbundene) Partner aus.





zeitliche Entwicklung der Population auf vorgegebener Netzwerkstruktur



x(0)=0.5

x(10)=0.75

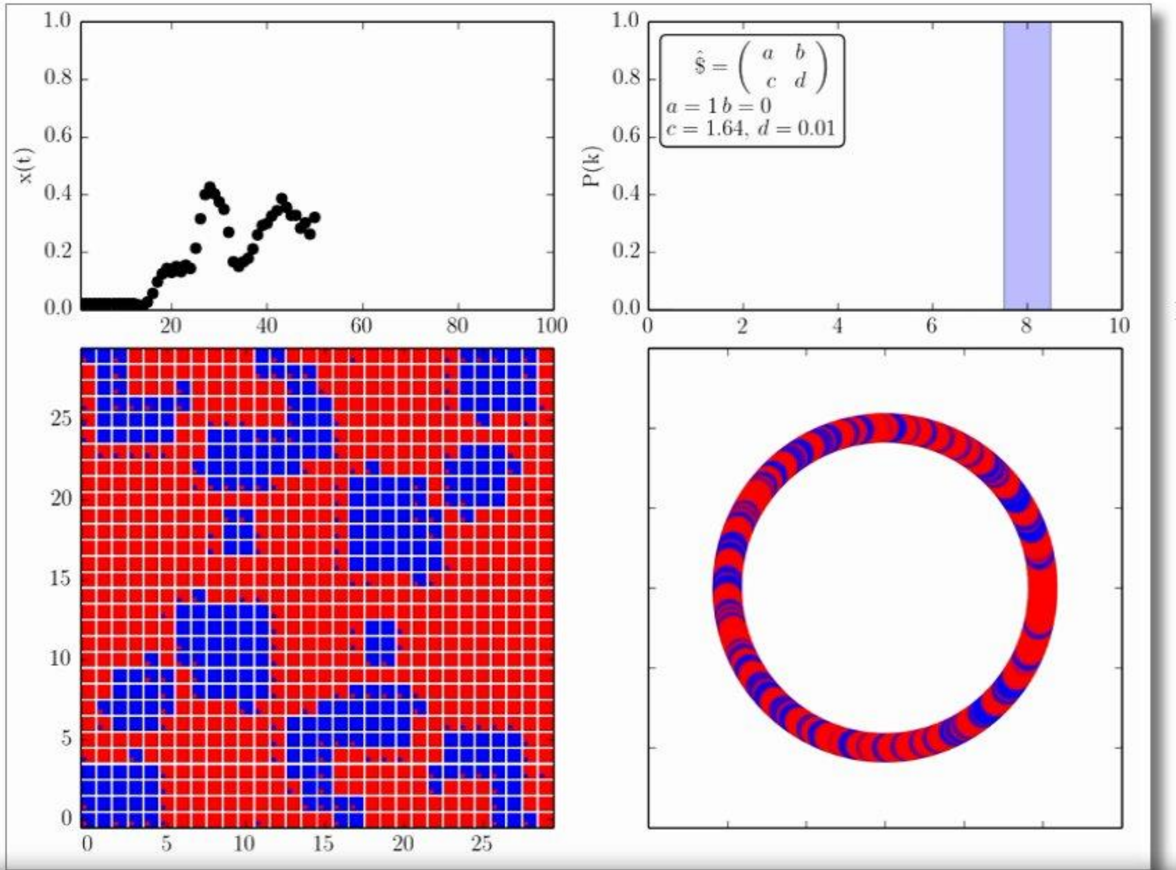
Mögliche Strategien: (grün , schwarz), Parameter t stellt die „Zeit“ dar.
x(t) : Anteil der Spieler, die im Zeitpunkt t die Strategie „grün“ spielen.
Die roten Verbindungslinien beschreiben die möglichen Spielpartner des Spielers

Inhalte vonTeil III

Einführung | **Teil I** | **Teil II** | **Teil III** | **E-Learning**

III.1 Evolutionäre Dynamik auf komplexen Netzwerkstrukturen

Die Verknüpfung der Theorie komplexer Netzwerke (siehe Teil II der Vorlesung) mit der evolutionären Spieltheorie (siehe Teil I der Vorlesung) stellt ein vielversprechendes mathematisches Modell dar, welches sowohl der interdisziplinären Grundlagenforschung, als auch der angewandten, empirischen Netzwerkforschung dienen kann. In diesem Kapitel wird die Vorgehensweise einer Miteinbeziehung komplexer Netzwerktopologien in die evolutionäre Spieltheorie beschrieben. Die dann auf einem solchen komplexen Netzwerk ablaufenden Entscheidungsprozesse können in den meisten Fällen lediglich mittels nummerischer, agenten-basierter Computersimulationen veranschaulicht werden.



III.1.1 Spatial Games: Evolutionäre räumliche Spiele

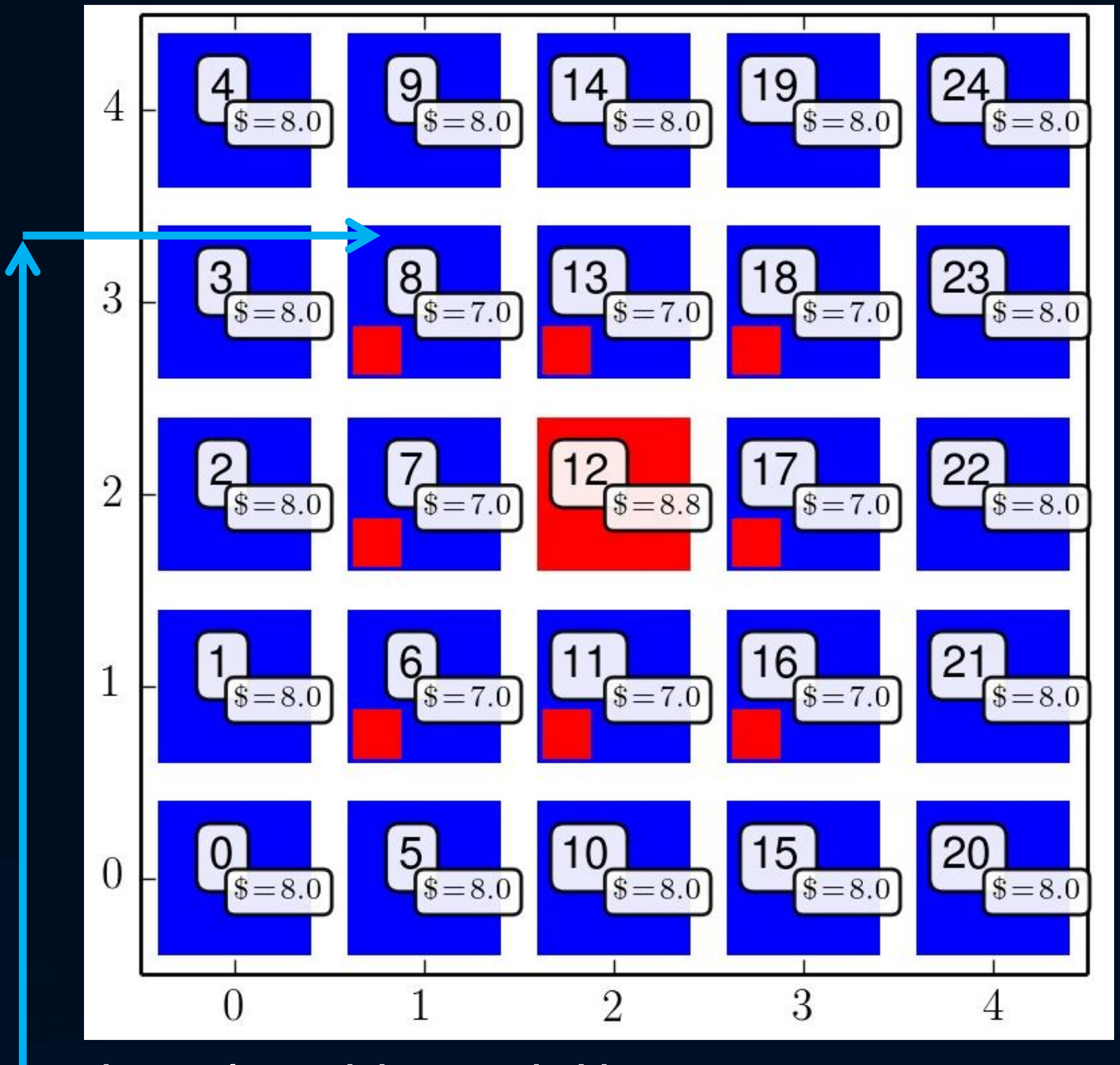
In diesem Unterpunkt werden die Spieler einer endlich großen Population auf einem räumlichen Gitter angeordnet, wobei jeder Spieler nur mit seinen nächsten Nachbarn spielen kann (*Moore Nachbarschaft*). Das zugrundeliegende Netzwerk der Spielerknoten besitzt somit eine reguläre Struktur und im betrachteten 2-dimensionalen Fall spielt jeder Spieler pro Spielperiode mit acht Spielern (Knotengrad $k_i = 8\,\forall\, i \in \mathcal{I}$). Wir beschränken uns im folgenden auf symmetrische 2x2-Spiele (siehe Teil I.1.4: Ansatz eines allgemeinen (2 Personen)-(2 Strategien) Spiels mit symmetrischer Auszahlunsmatrix und Parametern a, b, c und d). Die Spielerknoten spielen pro Iteration mit jedem ihrer Nachbarn und am Ende von jedem Zeitschritt vergleichen die Spieler ihren summierten Gewinn/Verlust mit den Nachbarspielern ihres Umfeldes. Ist die Auszahlung eines Spielers höher als der eigene Auszahlungswert, so ändern der Spieler in der nächsten Spielperiode seine Strategie; ist sein eigener Wert der höchste, so bleibt er auch in der nächsten Iteration bei seiner gespielten Strategie.

In dem oberen Link finden Sie eine Beispiel, das an das 9. Kapitel des Buches Martin A. Nowak, Evolutionary Dynamics - Exploring the Equations of Life, 2006 angelehnt ist und ein Gefangenendilemma auf einem räumlichen 2-dimensionalen Gitter beschreibt. In Abhängigkeit der Stärke der Dominanz der Strategie und der Anfangskonfiguration der Strategienwahl der Spieler sind unterschiedliche zeitlichen Entwicklungen der Population möglich. Die nebenstehende Animation zeigt die zeitliche Entwicklung einer speziellen sogenannten *Walker*-Anfangsbedingung, die nach der Kollission der beiden *Walker*-Strukturen eine Art explosionsartige Ausbreitung der blauen Strategie verursacht (siehe Python Skript VPSOC-RandomNetwork_evol.py). Das linke obere Diagramm veranschaulicht die zeitliche Entwicklung des Populationsvektors x(t). Obwohl die klassische evolutionäre Spieltheorie vorhersagt (siehe Teil I), dass der Anteil der Spieler die die dominante rote Strategie wählt im Laufe der Zeit kontinuierlich zunehmen sollte und gegen den Wert $\lim\limits_{t\to\infty}(x(t)) = 0$ konvergiert, bildet sich bei

Python Programm

Spatial Games

In diesem Python Programm wird die Menge der Spieler (hier N=24) auf einem 2D-Gitter mit Moorschen Nachbarschaftsbedingungen angeordnet (siehe S:147 in M.A.Nowak, „Evolutionary Dynamics“). In jeder Iterations-periode spielt jeder Spieler mit seinen nächsten Nachbarn ein symmetrisches (2x2)-Spiel. Am Ende einer Periode vergleicht jeder Spieler seinen Gesamtgewinn mit seinen Nachbarn und bestimmt in einem „Update Rule“ seine Strategie in der nächsten Spielperiode.



	Spieler B Strategie 1 y=1	Spieler B Strategie 1 y=0
Spieler A Strategie 1 x=1	(a , a)	(b , c)
Spieler A Strategie 2 x=0	(c , b)	(d , d)

Die rechte Simulation benutzte die folgenden Werte der Auszahlungs-matrix (siehe linke Abb.): a=1, b=0, c=1.1 und d=0.01

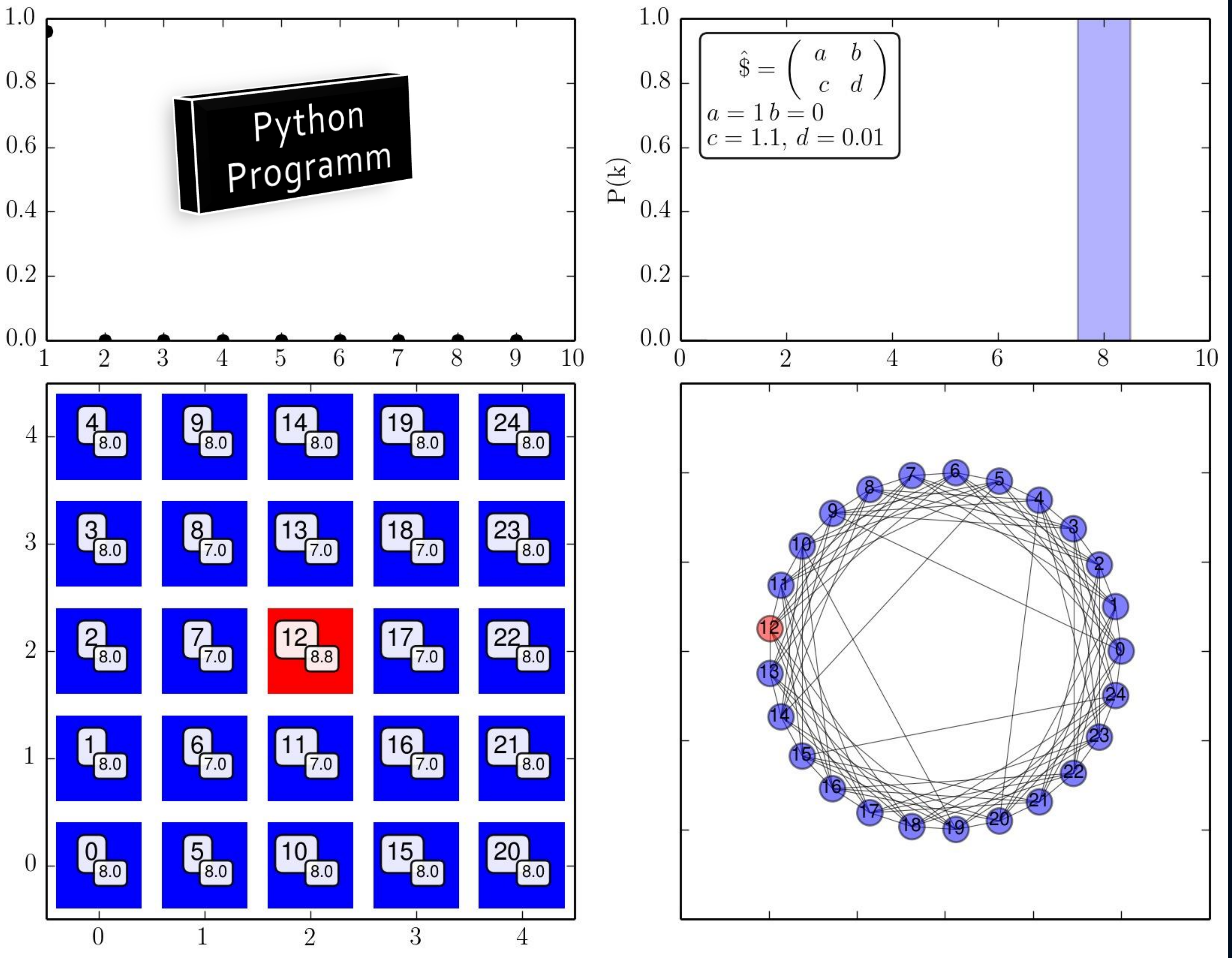
Beachte!: Definition von b und c ist in M.A.Nowak, „Evolutionary Dynamics“ vertauscht.

Update Rules und der Entscheidungsprozess

Spieler mit Knotennummer 8 hatte in der aktuellen Periode Strategie „blau“ gespielt und eine gesamte Auszahlung von $=7 erhalten. Er wird in der nächsten Periode „rot“ spielen (siehe kleines rotes Kästchen), da einer seiner nächsten Nachbarn (Knoten 12) eine höhere Auszahlung als er hatte und dieser die Strategie „rot“ spielte.

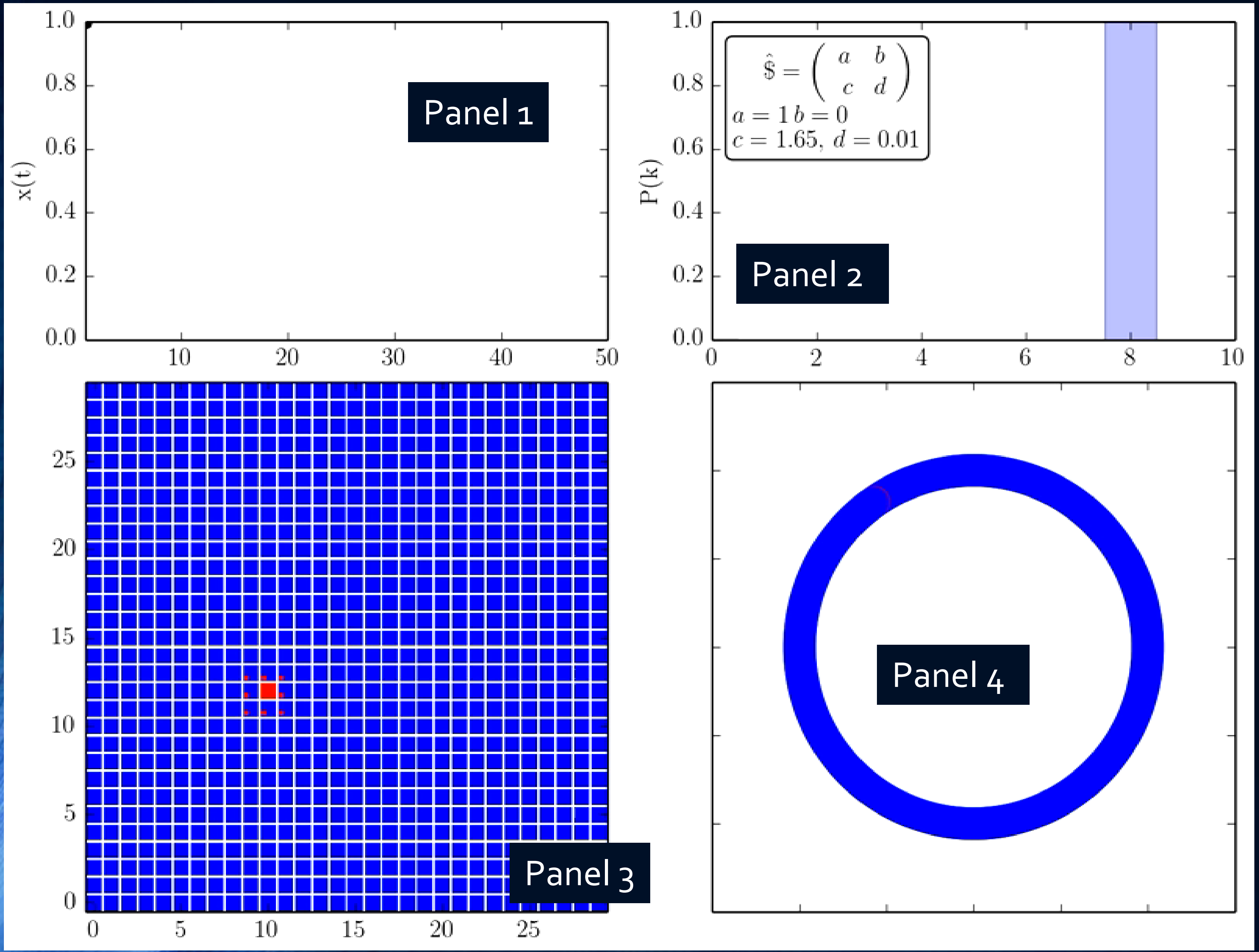
Betrachtetes Gefangenendilemma-ähnliches (2x2)-Spiel

	Spieler B **Strategie 1**	**Spieler B** **Strategie 2**
Spieler A **Strategie 1**	(1 , 1)	(0 , c)
Spieler A **Strategie 2**	(c , 0)	(0.01,0.01)



Python Programm
P(k)
$\hat{\$} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$
$a = 1\, b = 0$
$c = 1.1,\ d = 0.01$

Evolutionäre Spieltheorie auf komplexen Netzwerken



Das Python Programm visualisiert in vier unterschiedlichen „Panels" die Evolution des „Spatial Games". In Panel 1 wird die zeitliche Entwicklung des Populationsvektors x(t) veranschaulicht. Panel 2 zeigt die Verteilungsfunktion der Knotengrade P(k) des zugrundeliegenden Moorschen Netzwerks. Panel 3 zeigt die Entwicklung der Strategieentscheidung der einzelnen Spielerknoten in der benutzten räumlichen Anordnung. Panel 4 veranschaulicht dagegen die Menge der Spieler in einem Kreis, geordnet nach ihrer Knotenzahl.

Neben der Auszahlungsmatrix, den implementierten Update Rules und der zugrundeliegenden Netzwerkstruktur hängt die zeitliche Entwicklung auch von den gewählten Anfangsbedingungen ab (hier wurde ein roter Spieler in einem Umfeld von blauen Spieler angeordnet).

Physik der sozio-ökonomischen Systeme mit dem Computer

(Physics of Socio-Economic Systems with the Computer)

Jupyter Notebook:
Evolutionäre räumliche Spiele
Klasse der dominanten Spiele

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

(Sommersemester 2024)

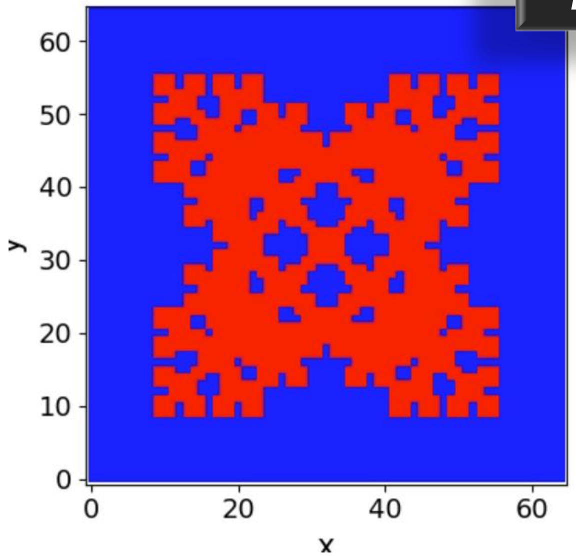
von Dr.phil.nat. Dr.rer.pol. Matthias Hanauske

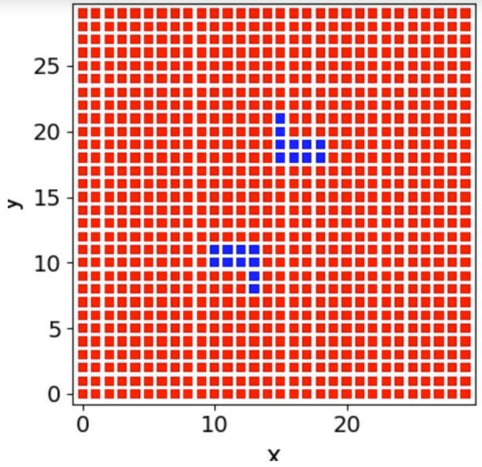
Frankfurt am Main 21.05.2024

Dritter Vorlesungsteil:

Evolutionäre räumliche Spiele (spatial games)

Beispiel: Dominante Spiele





Einführung

Die Verknüpfung der Theorie komplexer Netzwerke (siehe Teil II der Vorlesung) mit der evolutionären Spieltheorie (siehe Teil I der Vorlesung) stellt ein vielversprechendes mathematisches Modell dar, welches sowohl der interdisziplinären Grundlagenforschung, als auch der angewandten, empirischen Netzwerkforschung dienen kann. In diesem Kapitel wird die Vorgehensweise einer Miteinbeziehung komplexer Netzwerktopologien in die evolutionäre Spieltheorie beschrieben. Die dann auf einem solchen komplexen Netzwerk ablaufenden Entscheidungsprozesse können in den meisten Fällen lediglich mittels nummerischer, Agenten-basierter Computersimulationen veranschaulicht werden.

In diesem Jupyter Notebook werden die Spieler einer endlich großen Population auf einem räumlichen Gitter angeordnet, wobei jeder Spieler nur mit seinen nächsten Nachbarn spielen kann (*Moore Nachbarschaft*). Das zugrundeliegende Netzwerk der Spielerknoten besitzt somit eine einfache reguläre Struktur und im betrachteten 2-dimensionalen Fall spielt jeder Spieler pro Spielperiode mit acht Spielern (Knotengrad $k_i = 8 \, \forall \, i \in \mathcal{I}$). Wir beschränken uns im folgenden auf symmetrische (2x2)-Spiele und benutzen den Ansatz eines allgemeinen (2 Personen)-(2 Strategien) Spiels mit symmetrischer Auszahlungsmatrix und Parametern a, b, c und d. Die Spielerknoten spielen pro Iteration mit jedem ihrer Nachbarn und am Ende von jedem Zeitschritt vergleichen die Spieler ihren summierten Gewinn/Verlust mit den Nachbarspielern ihres Umfeldes. Ist die Auszahlung eines Spielers höher als der eigene Auszahlungswert, so ändern der Spieler in der nächsten Spielperiode seine Strategie; ist sein eigener Wert der höchste, so bleibt er auch in der nächsten Iteration bei seiner gespielten Strategie.

Im Folgenden betrachten wir ein Beispiel, das an das 9. Kapitel des Buches Martin A. Nowak, Evolutionary Dynamics - Exploring the Equations of Life, 2006 angelehnt ist und ein Gefangenendilemma auf einem räumlichen 2-dimensionalen Gitter beschreibt. In Abhängigkeit der Stärke der Dominanz der Strategie und der Anfangskonfiguration der Strategienwahl der Spieler sind unterschiedliche zeitlichen Entwicklungen der Population möglich. Wir nehmen im Folgenden ein dominantes, symmetrisches 2x2-Spiel mit folgender Auszahlungsmatrix an:

$$\hat{\$} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ c & 0.01 \end{pmatrix}$$

Physik der sozio-ökonomischen Systeme mit dem Computer

(Physics of Socio-Economic Systems with the Computer)

Jupyter Notebook:
Evolutionäre räumliche Spiele
Klasse der Koordinations- und Anti-Koordinationsspiele

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

(Sommersemester 2024)

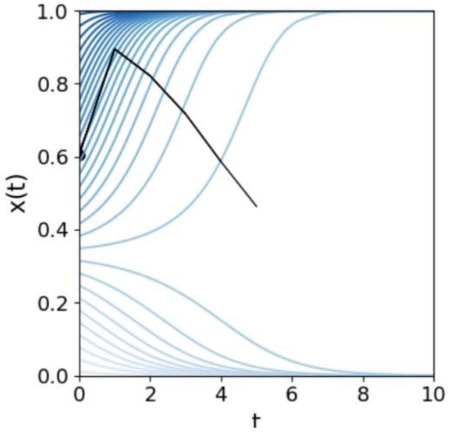
von Dr.phil.nat. Dr.rer.pol. Matthias Hanauske

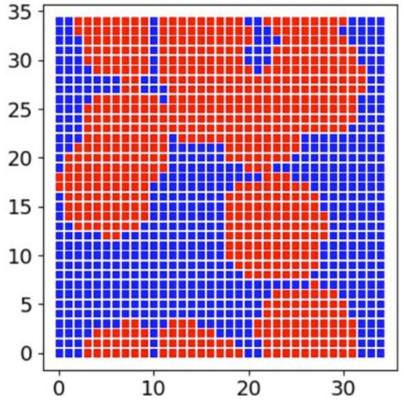
Frankfurt am Main 21.05.2024

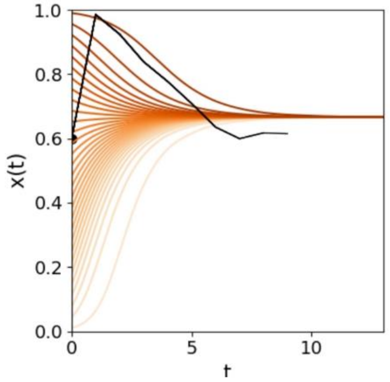
Dritter Vorlesungsteil:

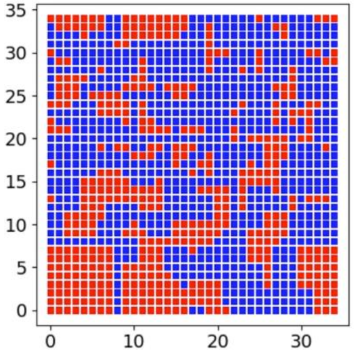
Evolutionäre räumliche Spiele (spatial games)

Beispiel: Koordinations- und Anti-Koordinationsspiele









Einführung

Die Verknüpfung der Theorie komplexer Netzwerke (siehe Teil II der Vorlesung) mit der evolutionären Spieltheorie (siehe Teil I der Vorlesung) stellt ein vielversprechendes mathematisches Modell dar, welches sowohl der interdisziplinären Grundlagenforschung, als auch der angewandten, empirischen Netzwerkforschung dienen kann. In diesem Kapitel wird die Vorgehensweise einer Miteinbeziehung komplexer Netzwerktopologien in die evolutionäre Spieltheorie beschrieben. Die dann auf einem solchen komplexen Netzwerk ablaufenden Entscheidungsprozesse können in den meisten Fällen lediglich mittels numerischer, Agenten-basierter Computersimulationen veranschaulicht werden.

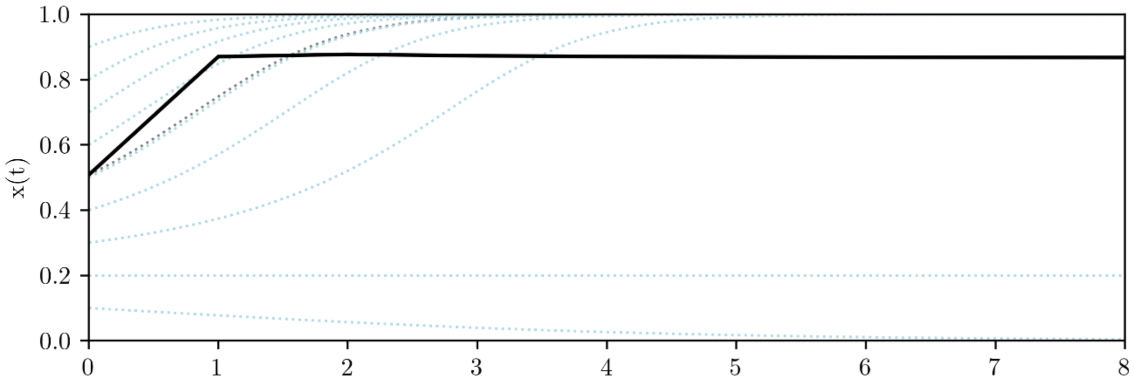
In diesem Jupyter Notebook werden die Spieler einer endlich großen Population auf einem räumlichen Gitter angeordnet, wobei jeder Spieler nur mit seinen nächsten Nachbarn spielen kann (*Moore Nachbarschaft*). Das zugrundeliegende Netzwerk der Spielerknoten besitzt somit eine einfache reguläre Struktur und im betrachteten 2-dimensionalen Fall spielt jeder Spieler pro Spielperiode mit acht Spielern (Knotengrad $k_i = 8 \, \forall \, i \in \mathcal{I}$). Wir beschränken uns im folgenden auf symmetrische (2x2)-Spiele und benutzen den Ansatz eines allgemeinen (2 Personen)-(2 Strategien) Spiels mit symmetrischer Auszahlungsmatrix und Parametern a, b, c und d. Die Spielerknoten spielen pro Iteration mit jedem ihrer Nachbarn und am Ende von jedem Zeitschritt vergleichen die Spieler ihren summierten Gewinn/Verlust mit den Nachbarspielern ihres Umfeldes. Ist die Auszahlung eines Spielers höher als der eigene Auszahlungswert, so ändern der Spieler in der nächsten Spielperiode seine Strategie; ist sein eigener Wert der höchste, so bleibt er auch in der nächsten Iteration bei seiner gespielten Strategie.

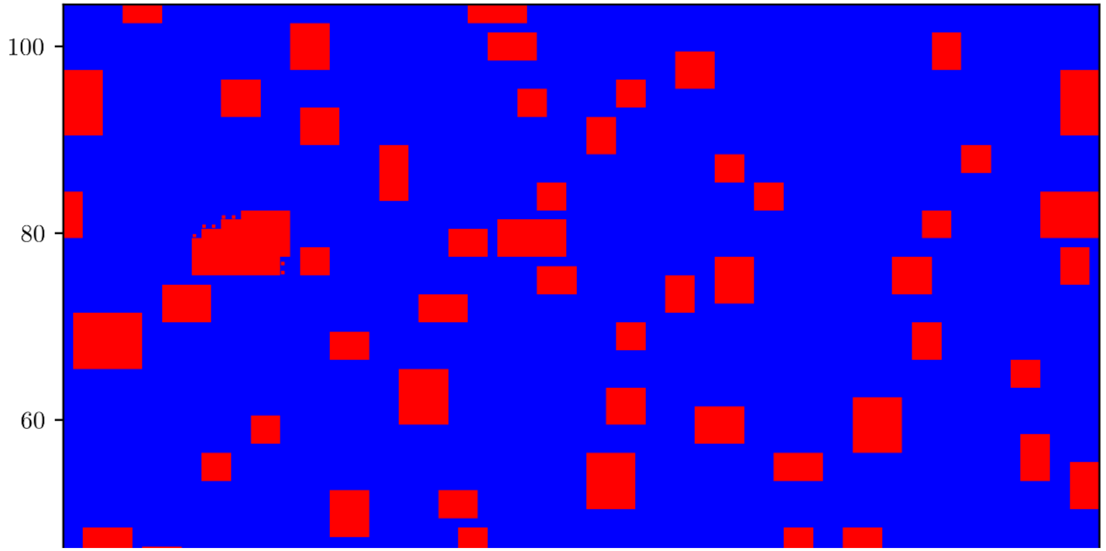
Im Folgenden betrachten wir Beispiele von Koordinations- und Anti-Koordinationsspielen und vergleichen die zeitliche Entwicklung der räumlichen Spiele mit den Ergebnissen der klassischen evolutionären Spieltheorie. In der klassischen evolutionären Spieltheorie (siehe Teil I der Vorlesung) betrachtete man eine unendlich große Population von Spielern, wobei jeder Spieler im Prinzip mit jedem anderen Spieler in Kontakt treten und das Spiel spielen konnte. Mittels der Replikatordynamik konnten wir dann das zeitliche Verhalten des Populationsvektors $x(t)$ (Anteil der Spieler, die die Strategie $s_1 \hat{=} \mathit{Blau}$ spielen) berechnen.

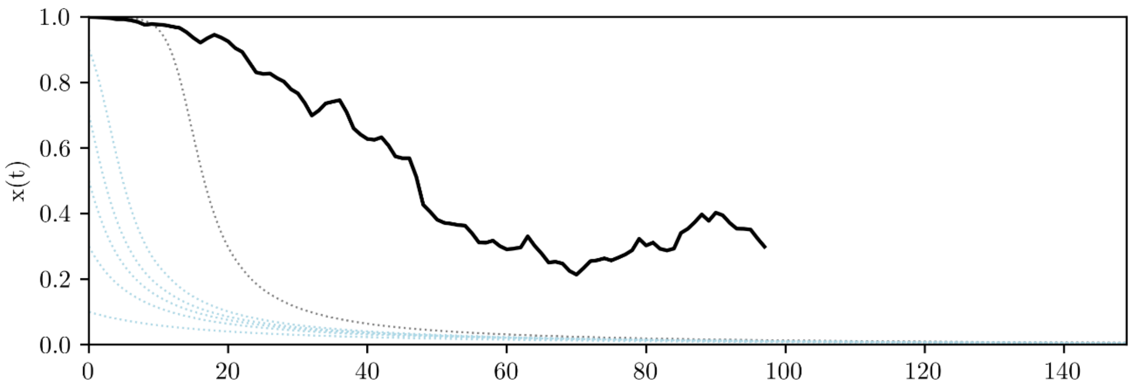
Wir nehmen im Folgenden ein allgemeines symmetrisches (2x2)-Spiel mit folgender Auszahlungsmatrix an:

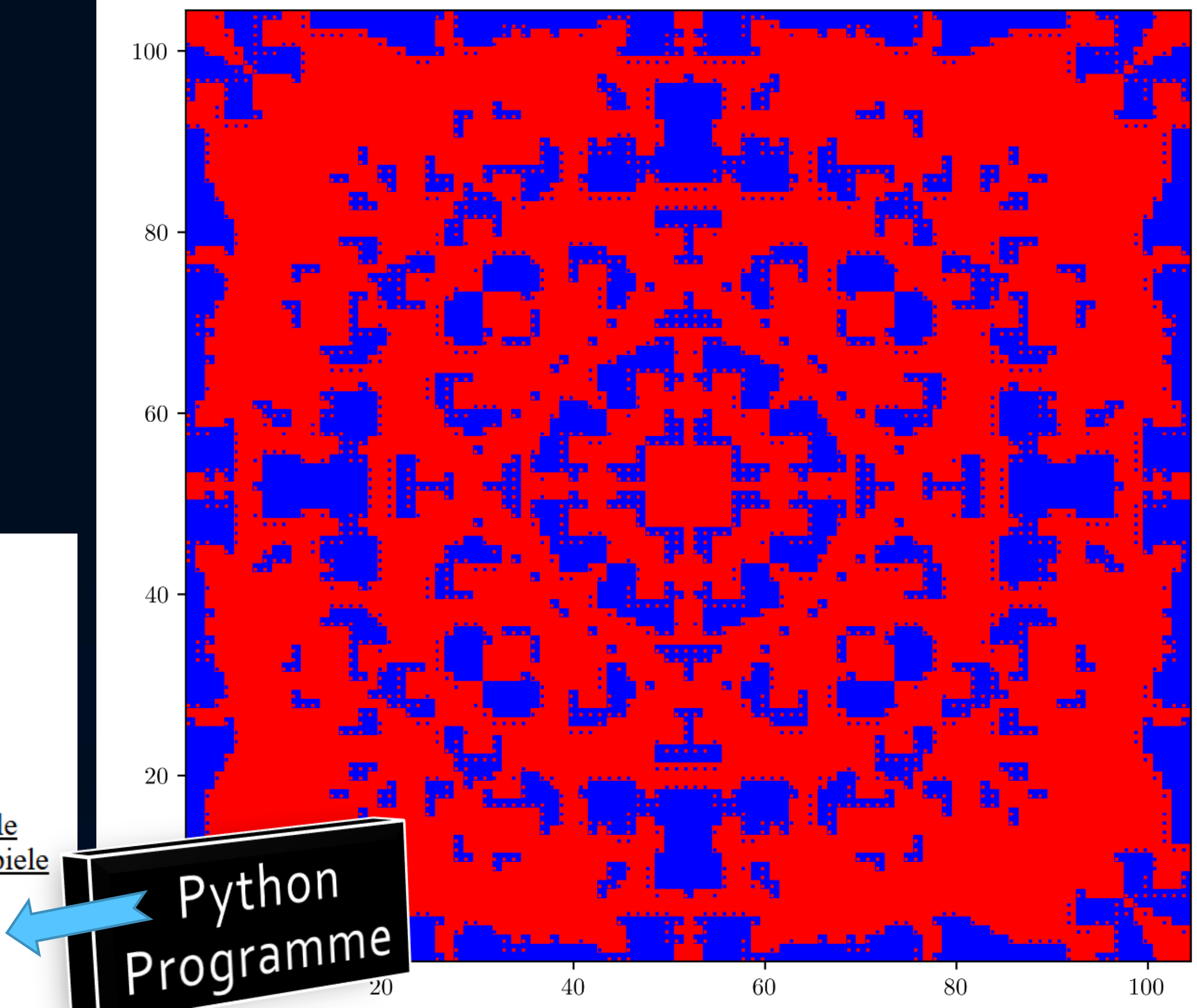
$$\hat{\$} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$$

Die Klasse der Koordinationsspiele (a > c und b < d)





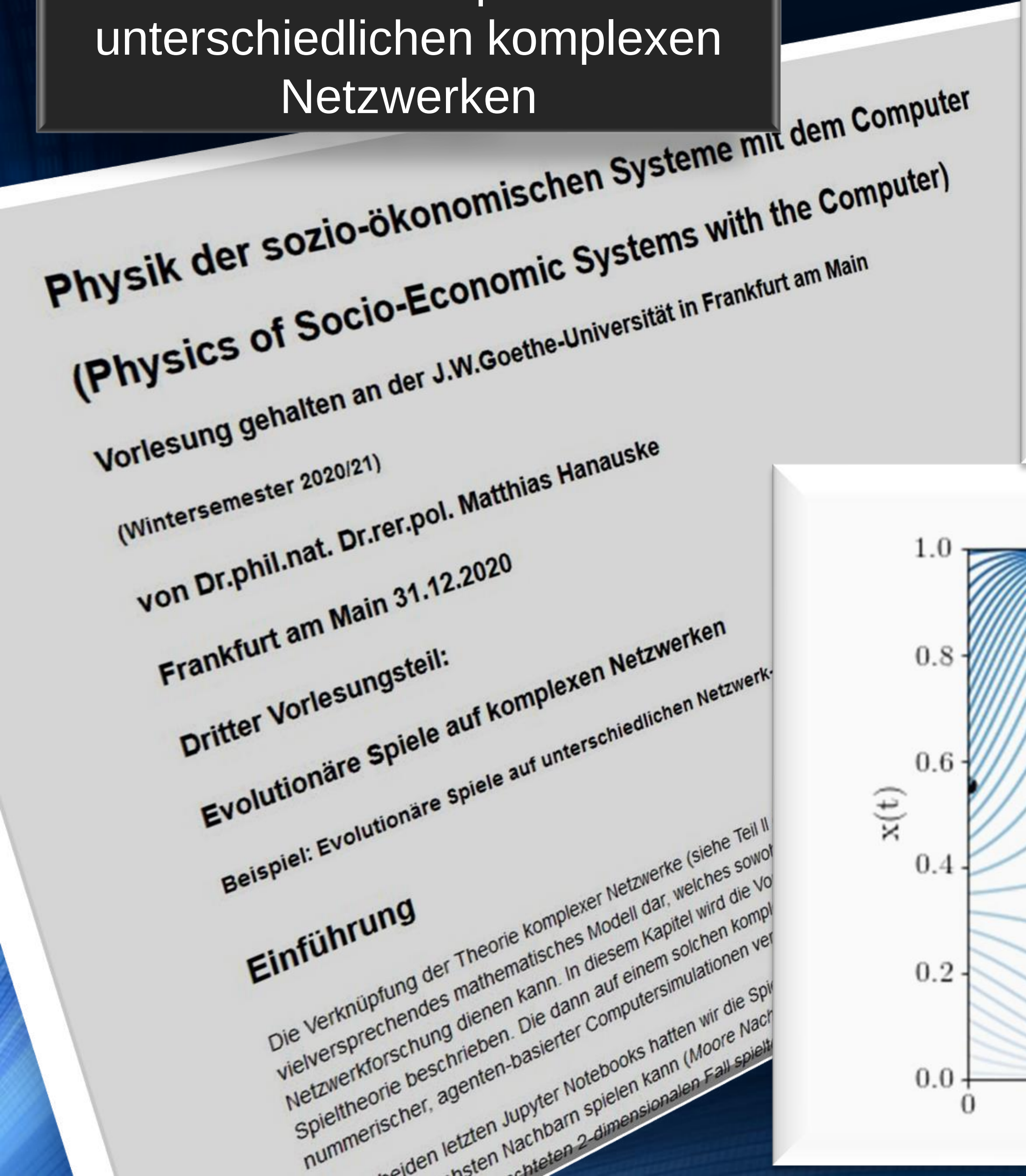




Weiterführende Links

Folien der 9.Vorlesung
Vorlesungsaufzeichnung der 9.Vorlesung: WS 2022/23 bzw. WS 2021/22
View Jupyter Notebook: Evolutionäre dominante räumliche Spiele
Download Jupyter Notebook: Evolutionäre dominante räumliche Spiele
View Jupyter Notebook: Evolutionäre räumliche Spiele: Koordinations- und Anti-Koordinationsspiele
Download Jupyter Notebook: Evolutionäre räumliche Spiele: Koordinations- und Anti-Koordinationsspiele
Download Python Programm: Räumliches Spiel (kleines Gitter mit Auszahlungen)
Download Python Programm: Räumliches Spiel (mittleres Gitter, Walker-Anfangskonfiguration)
Download Python Programm: Räumliches Spiel (großes Gitter)

Jupyter Notebook: Evolutionäre Spiele auf unterschiedlichen komplexen Netzwerken



Physik der sozio-ökonomischen Systeme mit dem Computer

(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

Dritter Vorlesungsteil:

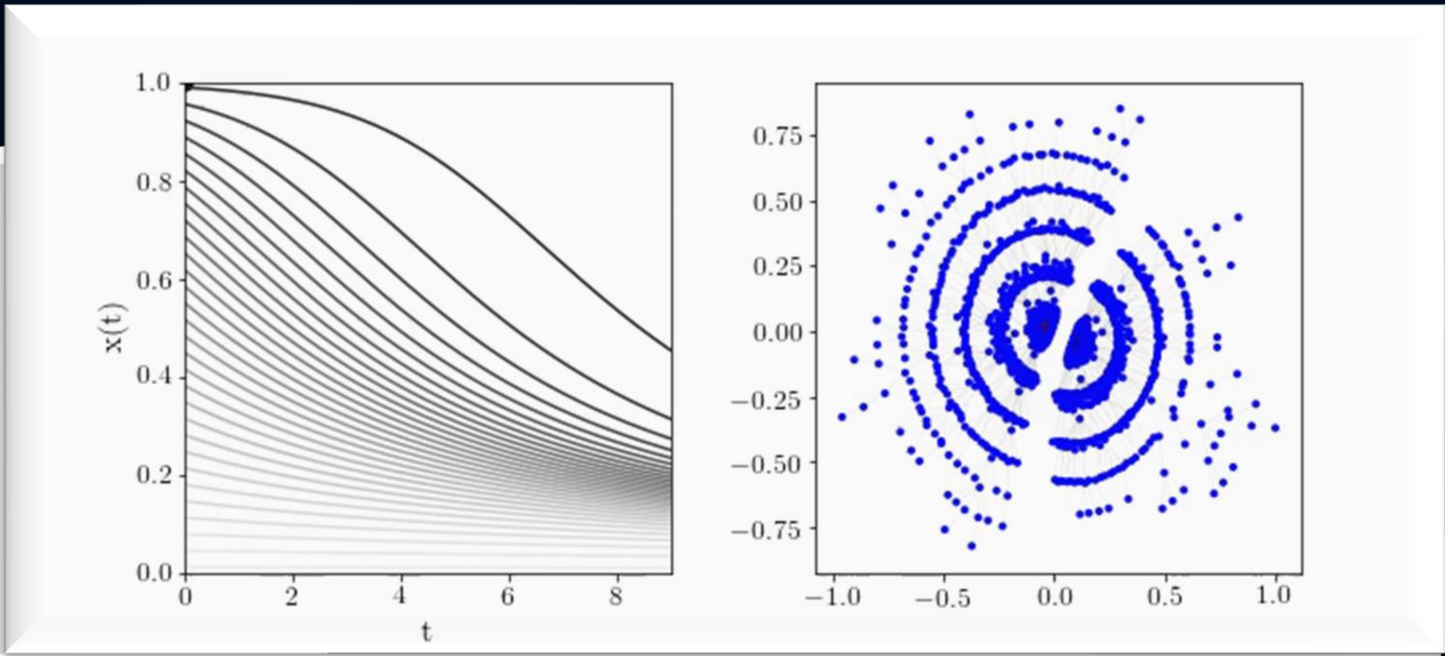
Evolutionäre Spiele auf komplexen Netzwerken

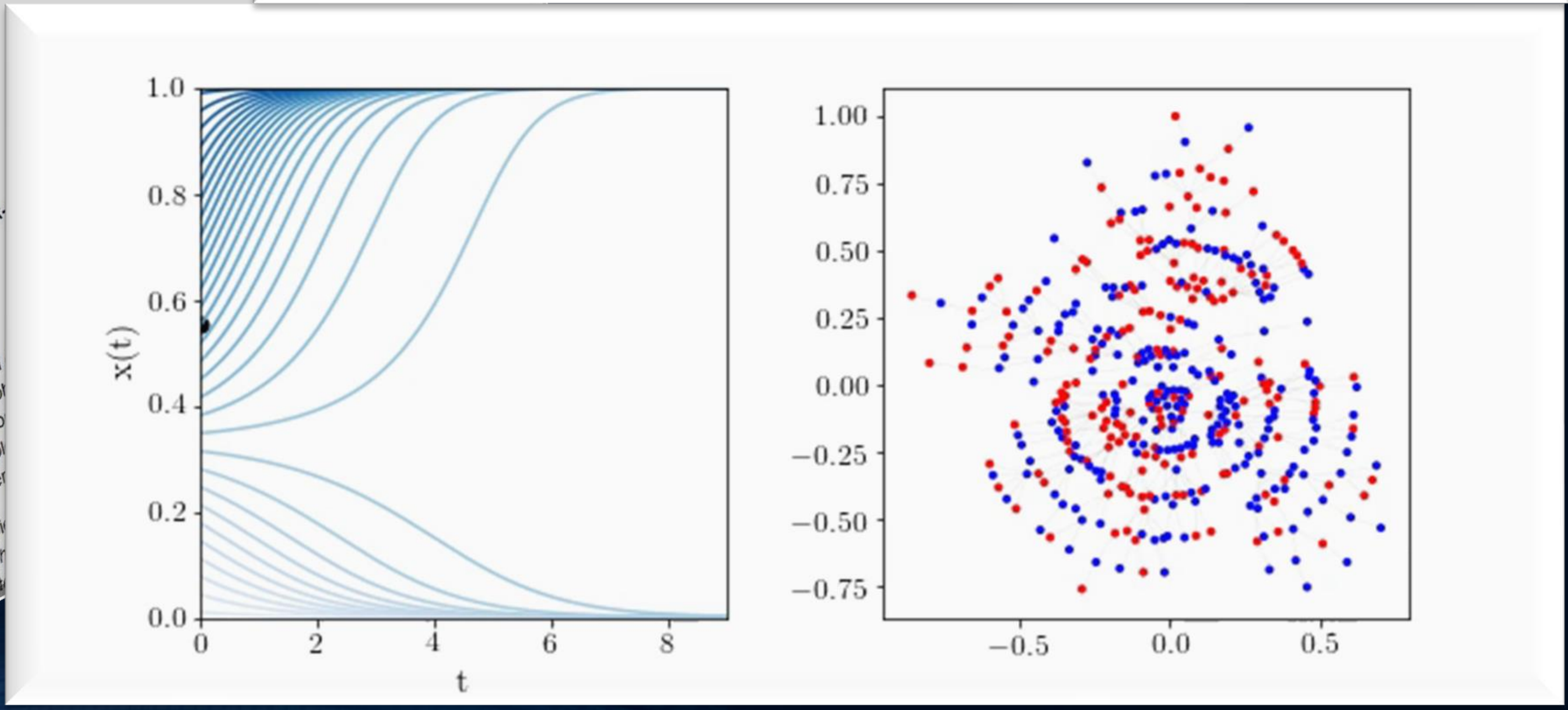
Beispiel: Evolutionäre Spiele auf unterschiedlichen Netzwerk-

Einführung

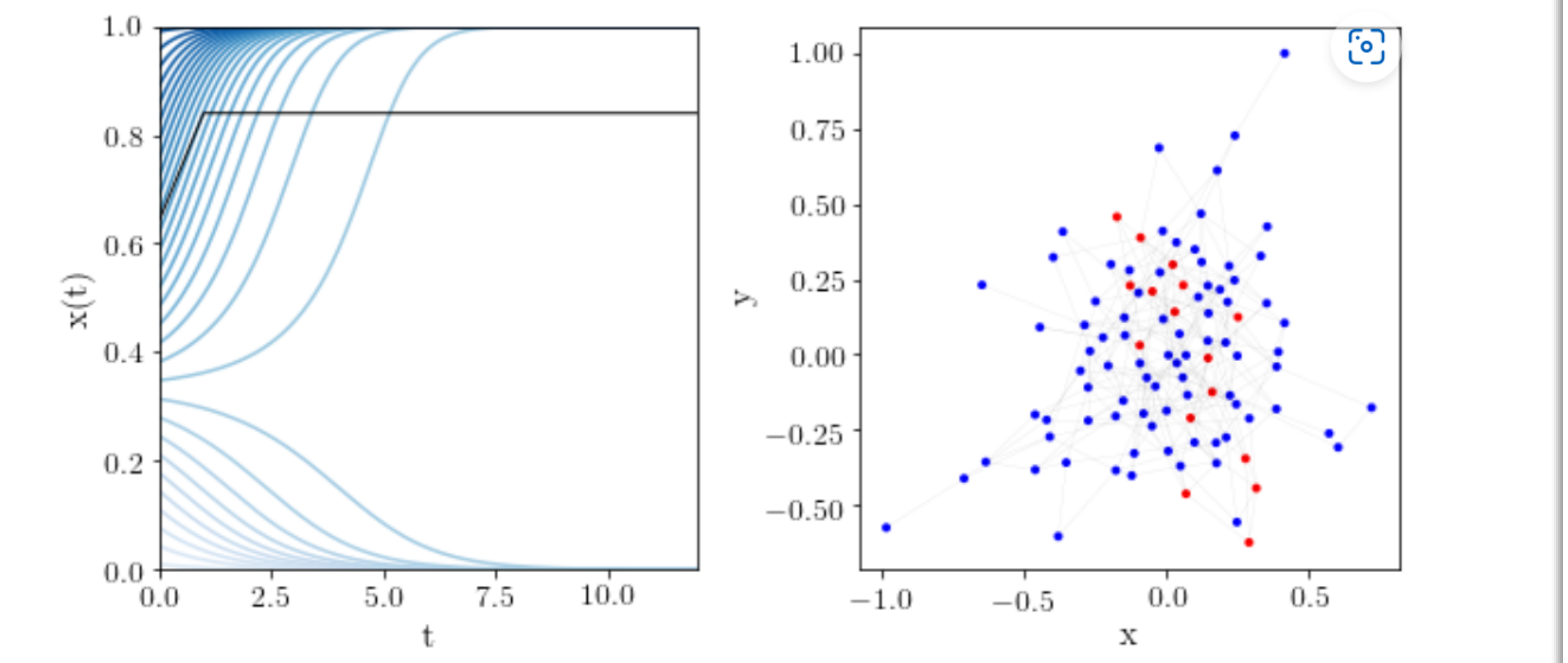
Die Verknüpfung der Theorie komplexer Netzwerke (siehe Teil II
vielversprechendes mathematisches Modell dar, welches sowo
Netzwerkforschung dienen kann. In diesem Kapitel wird die Vo
Spieltheorie beschrieben. Die dann auf einem solchen kompl
nummerischer, agenten-basierter Computersimulationen ver

beiden letzten Jupyter Notebooks hatten wir die Spi
hsten Nachbarn spielen kann (Moore Nach
chteten 2-dimensionalen Fall spielt

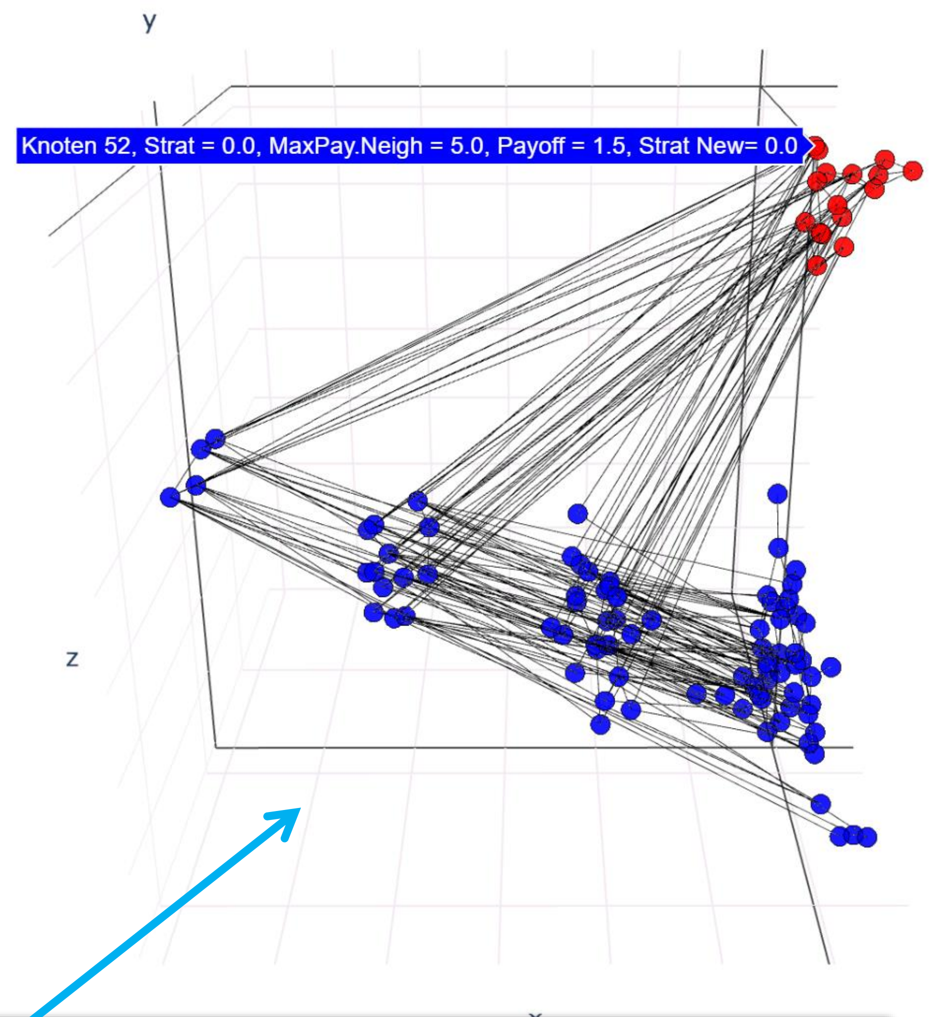




Evolutionäre Spieltheorie auf zufälligen Netzwerken

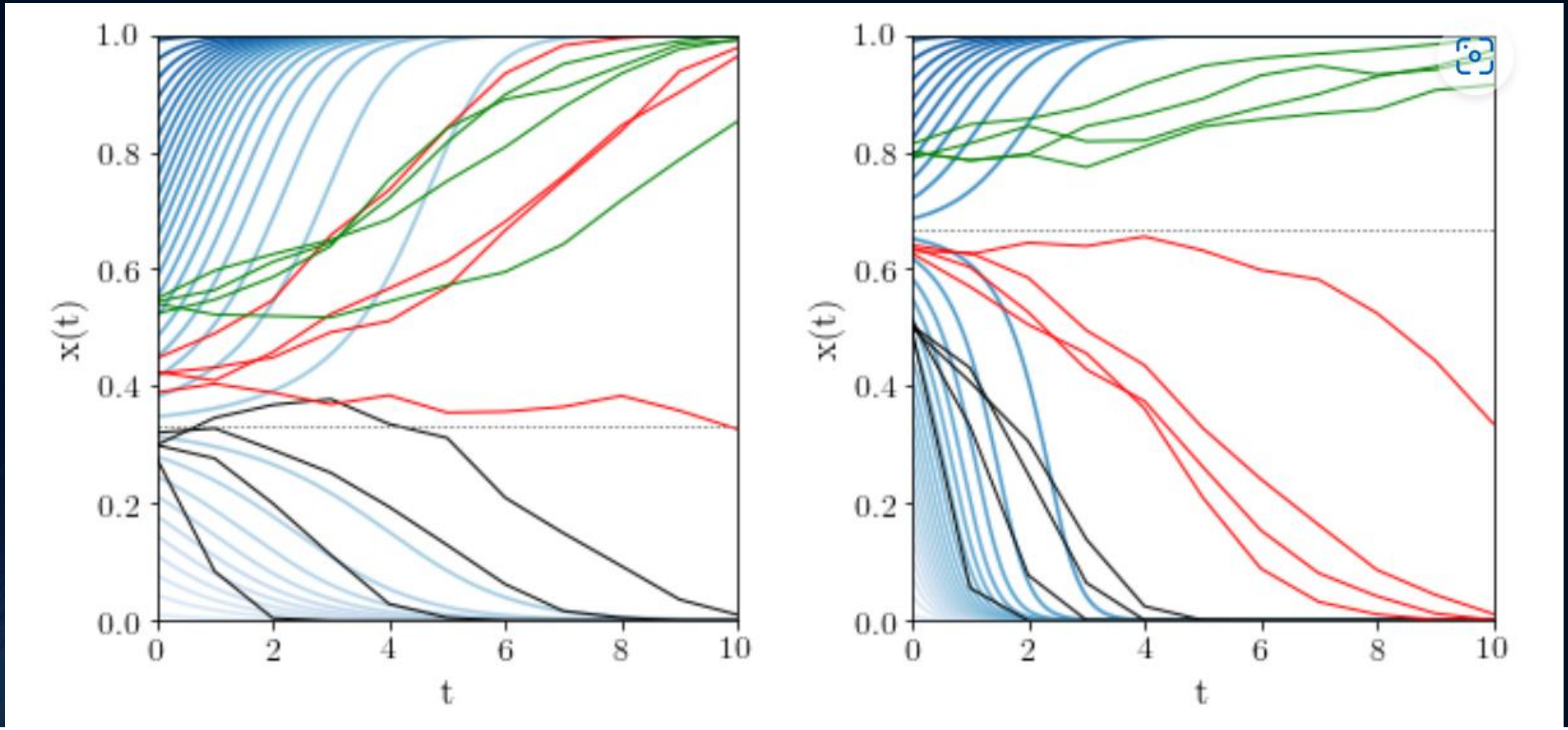


Die obige Abbildung stellt das letzte Bild des simulierten evolutionären Spiels auf dem zufälligen Netzwerk dar.



Die obere Abbildung zeigt das Netzwerk bei einer festgelegten Zeititeration. Die roten Spieler sind um einen gewissen Betrag in z-Richtung verschoben, die Nachbarn der roten Spieler um einen gewissen Betrag in xz-Richtung und Spieler, die ihre Strategie in der nächsten Spielperiode verändern, sind um einen gewissen Betrag in y-Richtung verschoben (in der oberen Abbildung tritt diese Situation aufgrund des statischen Endzustandes jedoch nicht auf). Zusätzlich kann man in der interaktiven Grafik die Knotennummer, die aktuelle und zukünftige Strategie, den erzielten Payoff und den maximalen Payoff der Nachbarn erkennen, wenn man mit der Maus in die Nähe eines Knotens gelangt. Die einzelnen Eigenschaften des Knotens und seiner Nachbarn können auch wie folgt ausgegeben werden:

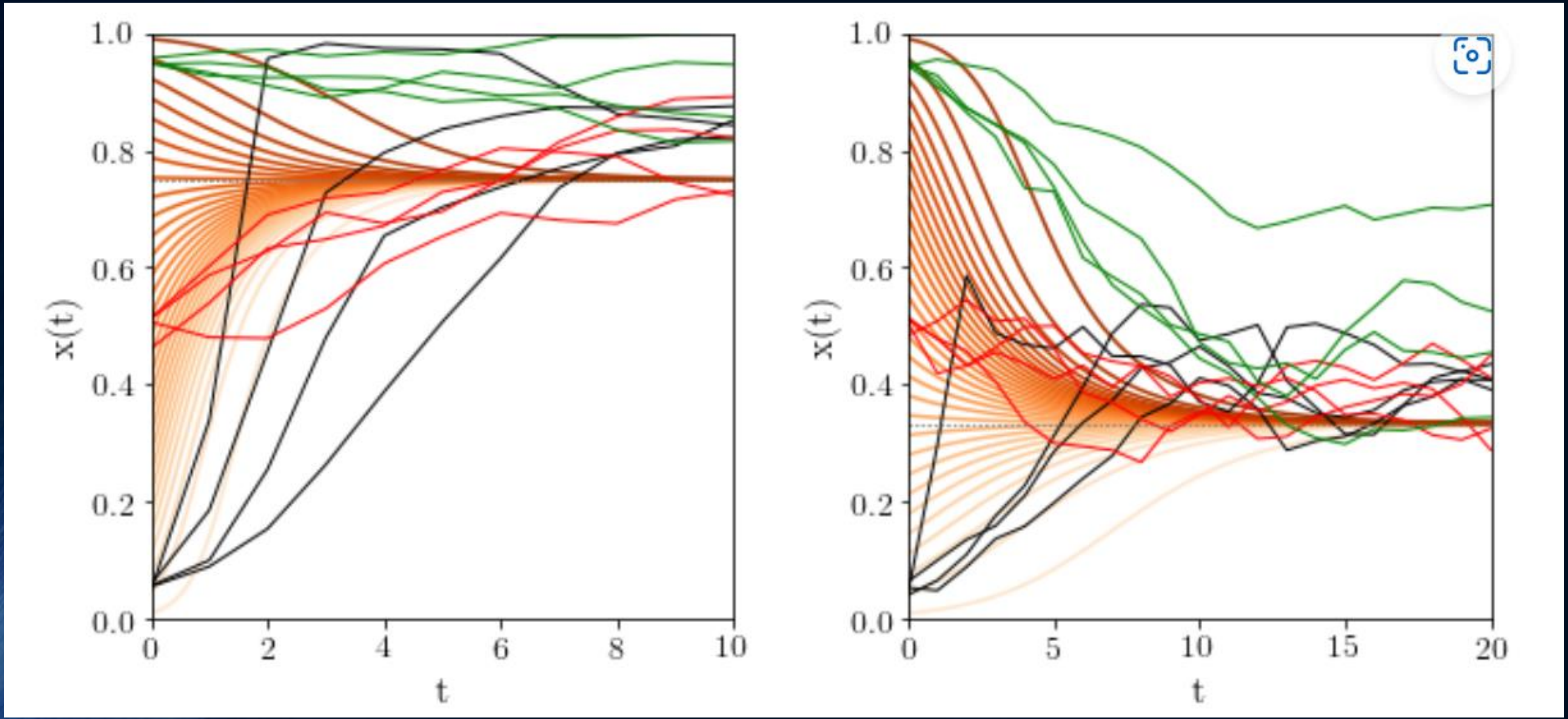
Evolutionäre Spieltheorie auf vollständig verbundenen Netzwerken
Koordinationsspiele



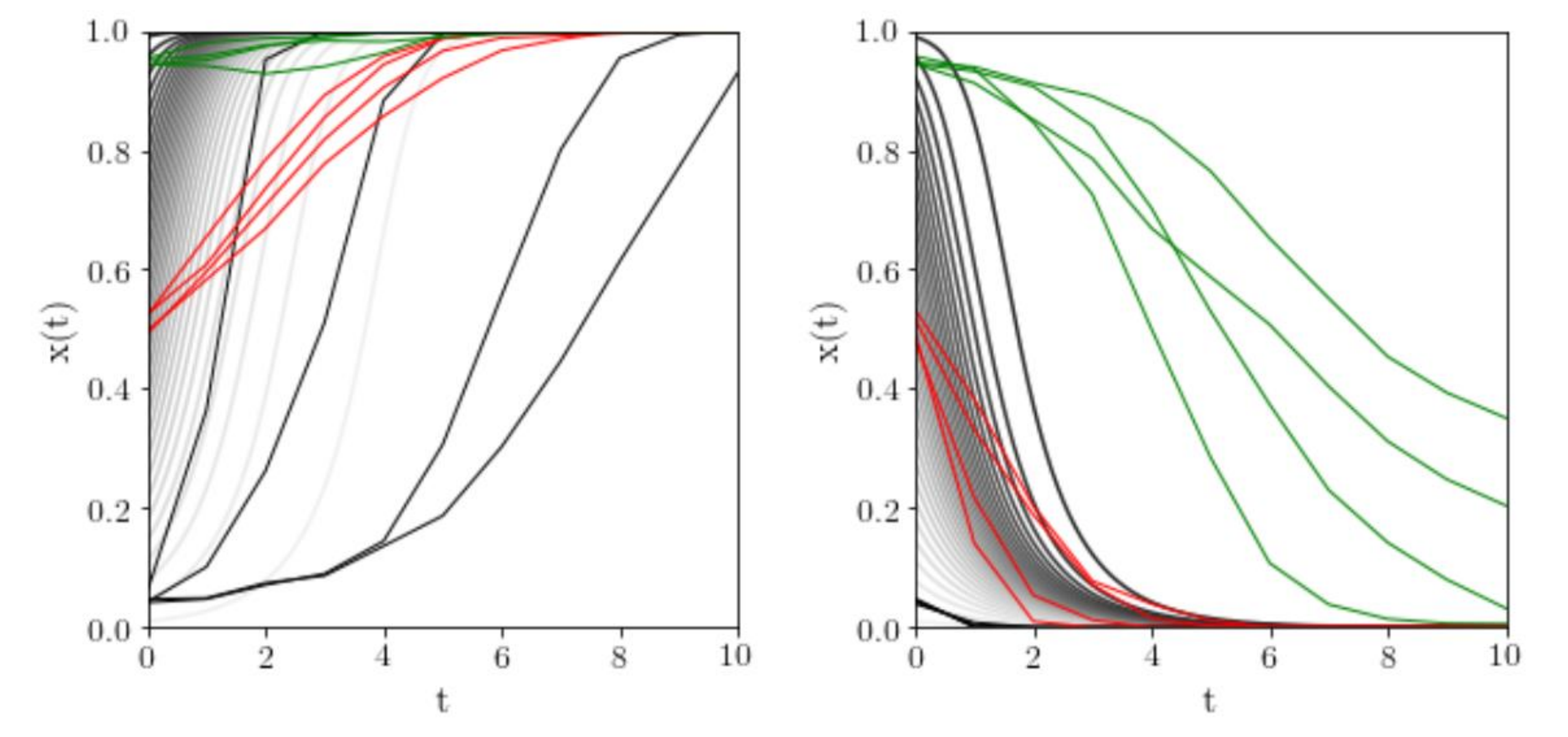
Die oberen Abbildungen zeigen die simulierten Ergebnisse für zwei Koordinationsspiele mit unterschiedlichem gemischten Nash-Gleichgewicht (siehe graue gepunktete Linien). Die simulierten Populationsvektoren (siehe schwarze, rote und grüne Kurven) stimmen gut mit den Vorhersagen der analytischen evolutionären Spieltheorie überein, wobei die Form der zeitlichen Entwicklung stark vom Zufall bestimmt ist.

Das oben abgebildete evolutionäre Spiel eines Koordinationsspiels auf einem vollständig verbundenen Netzwerk, in dem jeder Spieler pro Spielperiode acht Spielpartner sucht und mit ihnen das Spiel spielt ($< k >_{\text{eff}} \approx 8$) wird nun durch ein Anti-Koordinationsspiel ersetzt.

Evolutionäre Spieltheorie auf vollständig verbundenen Netzwerken
Anti-*Koordinationsspiele*



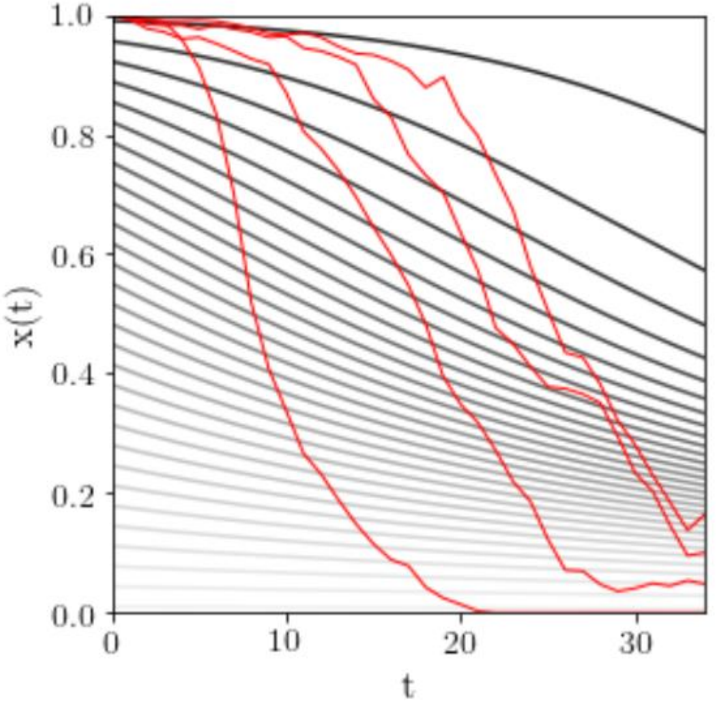
Evolutionäre Spieltheorie auf vollständig verbundenen Netzwerken
Dominante Spiele

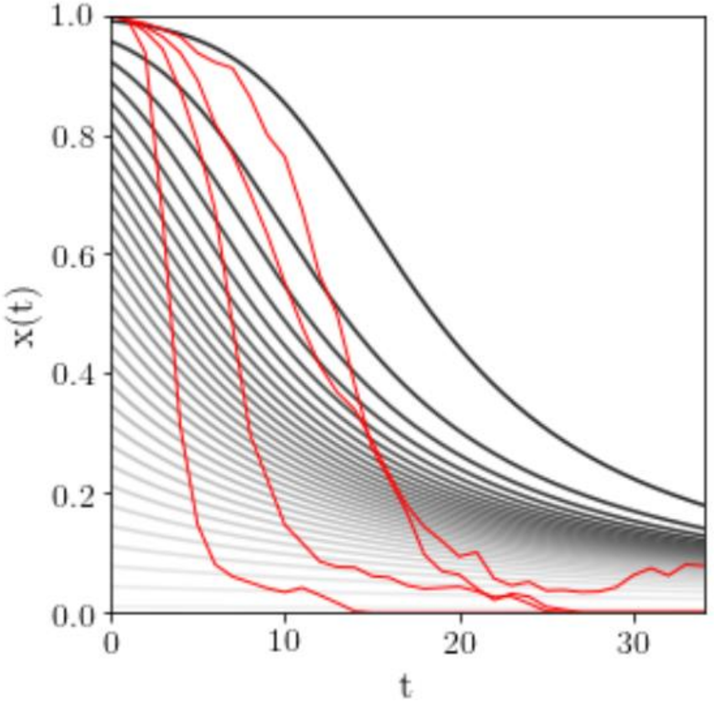


Evolutionäre Spieltheorie auf vollständig verbundenen Netzwerken
Dominante Spiele

Bei den räumlichen dominanten Spielen hatten wir gesehen, dass sich die dominante Strategie nur ab einer gewissen Stärke der Dominanz durchsetzen kann. Dies wollen wir nun auf unserem Netzwerk untersuchen und setzen dafür die Auszahlungswerte der beiden dominanten Spiele wie folgt an:

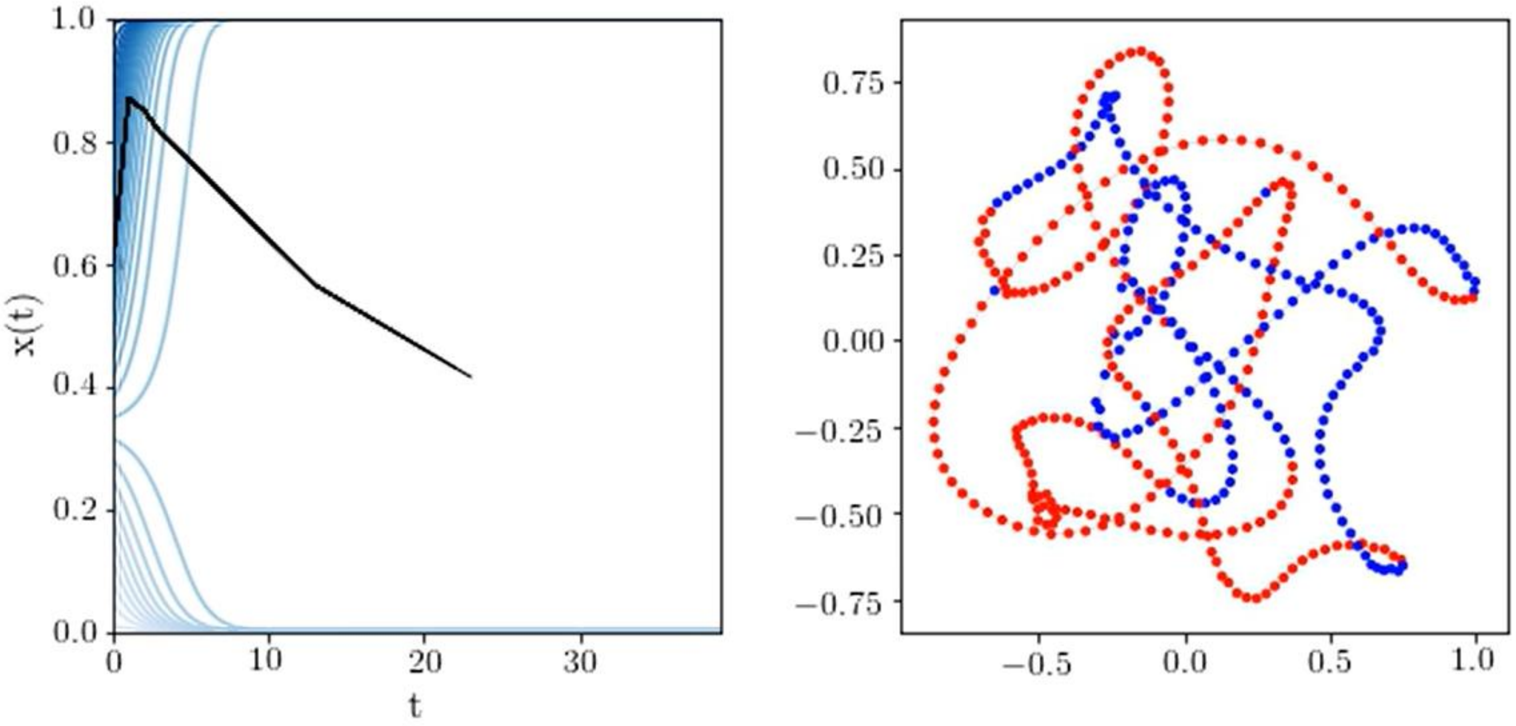
Linke Abbildung: $\hat{\$} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ c = 1.1 & 0.01 \end{pmatrix}$, Rechte Abbildung: $\hat{\$} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ c = 1.3 & 0.01 \end{pmatrix}$. Da sich aufgrund der schwachen Dominanz der Spiele (kleine c-Werte) die zeitliche Entwicklung verlangsamt, simulieren wir das Spiel nicht nur 11, sondern 35 Iterationen:





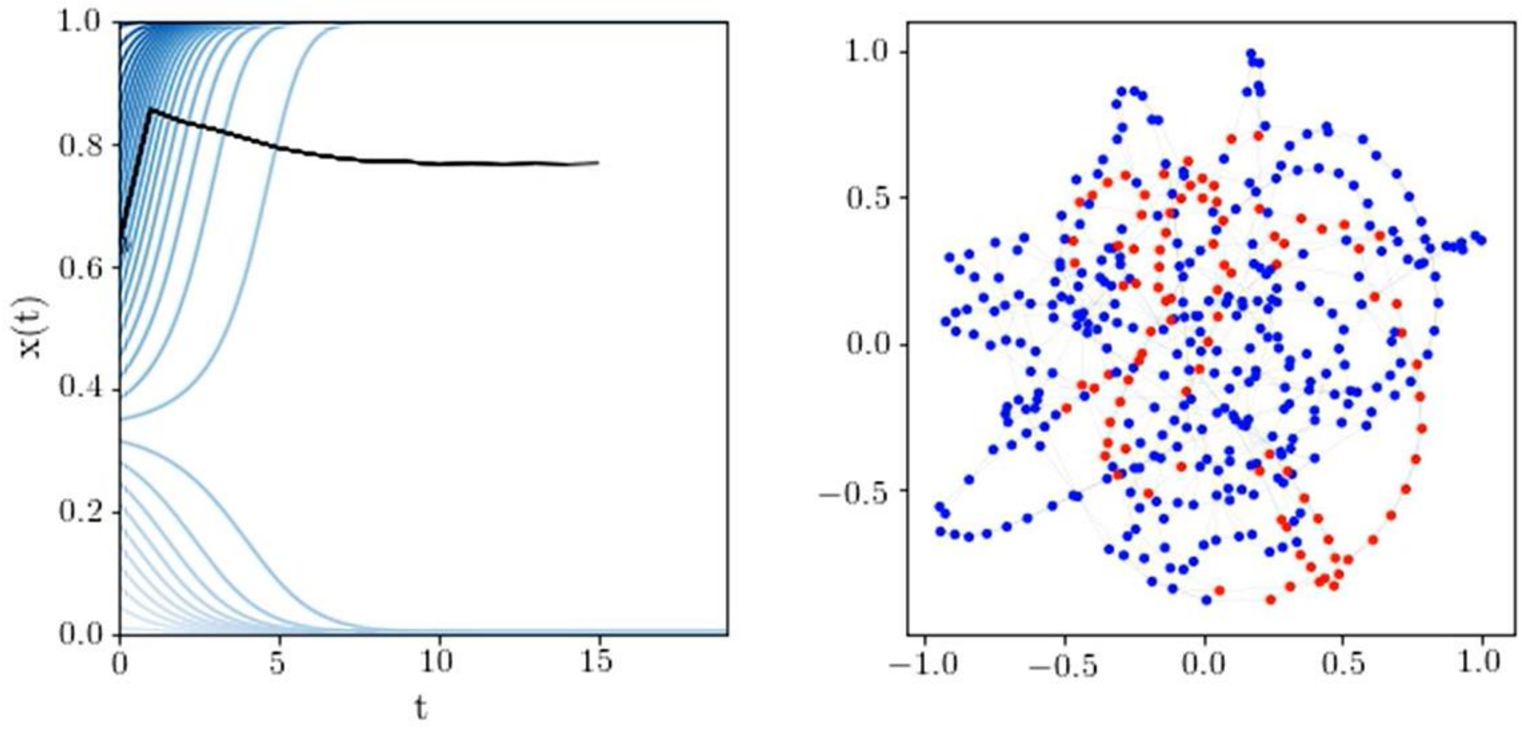
Man erkennt im Gegensatz zu den Ergebnissen der räumlichen Spiele, dass sich auch bei geringer Dominanz des Spiels (links $c = 1.1$, rechts $c = 1.3$) die zweite Strategie sich durchsetzt, wie es von der Replikatordynamik vorhergesagt wird.

Evolutionäre Spieltheorie auf Ringgitter Netzwerken



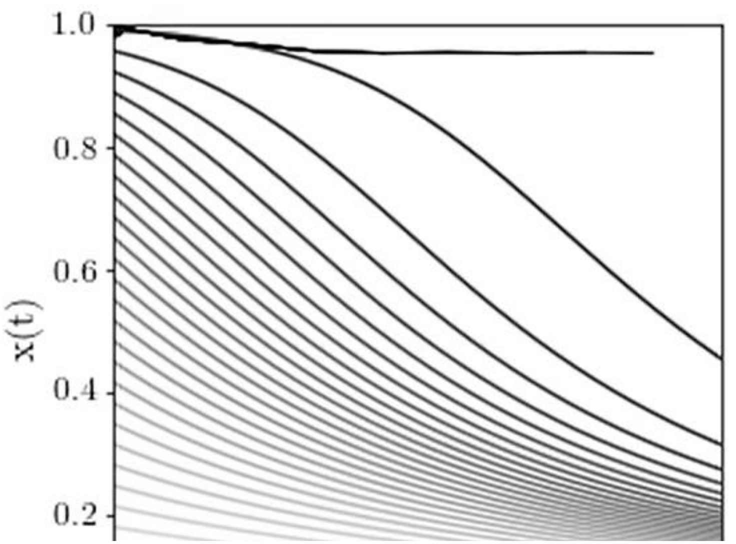
Man erkennt, dass sich die rote Strategie im Laufe der Zeit immer mehr auf dem Ringgitter durchsetzt, die zeitliche Ausbreitung jedoch sehr langsam ist. Wir betrachten uns nun die zeitliche Entwicklung auf einem "kleine Welt"-Netzwerk und erzeugen nach der Vorgehensweise von Watts und Strogatz 50 zufällige Spielerverbindungen:

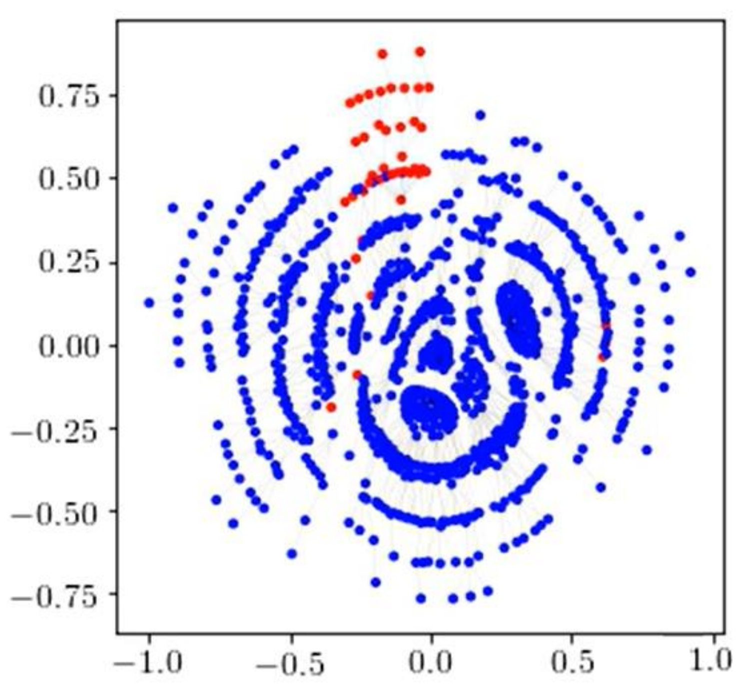
Evolutionäre Spieltheorie auf Kleine Welt Netzwerken

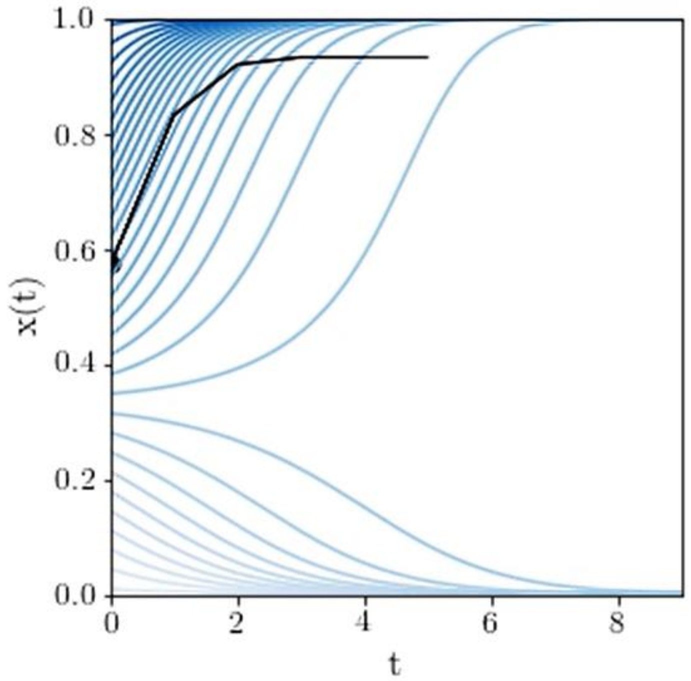


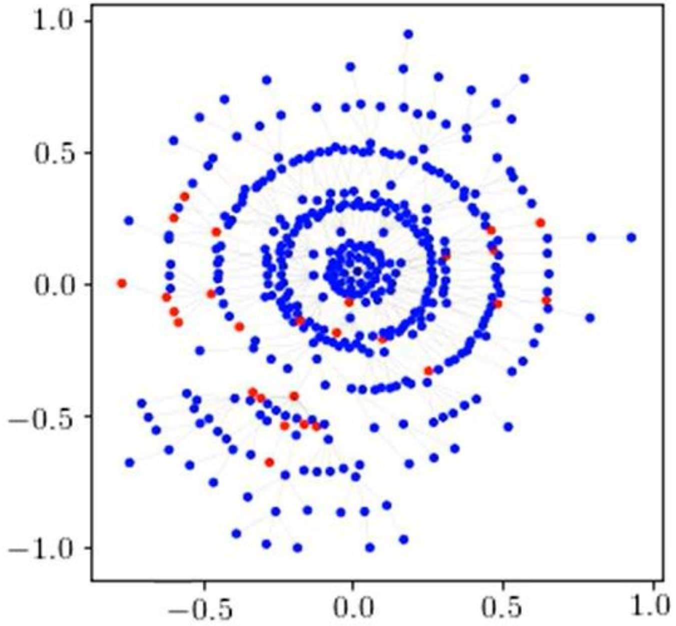
Bei dieser Simulation auf einem kleine Welt Netzwerk kann sich die rote Strategie nicht durchsetzen und der Endzustand der Population besteht lediglich aus einigen roten Gruppen-Clustern.

Evolutionäre Spieltheorie auf skalenfreien Netzwerken

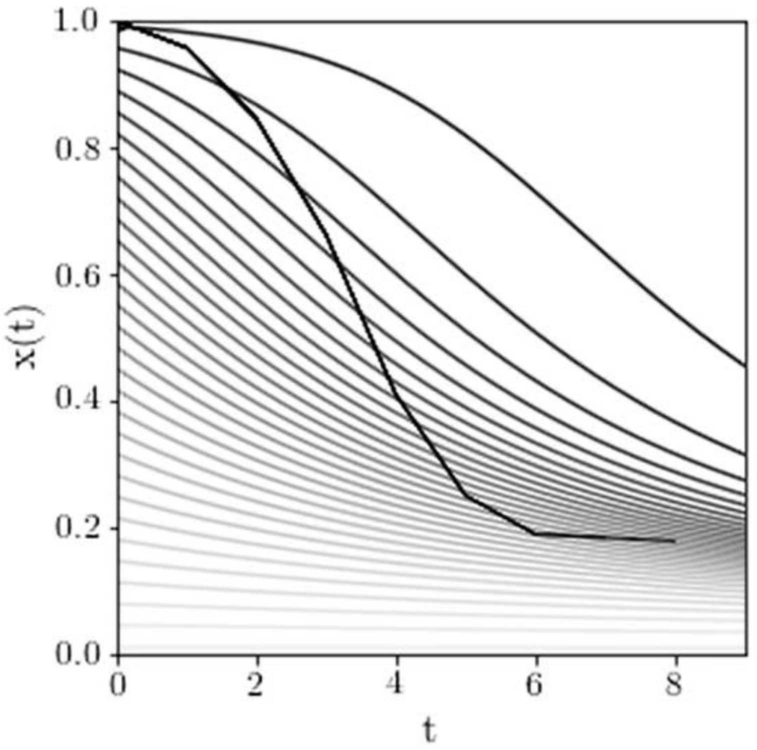


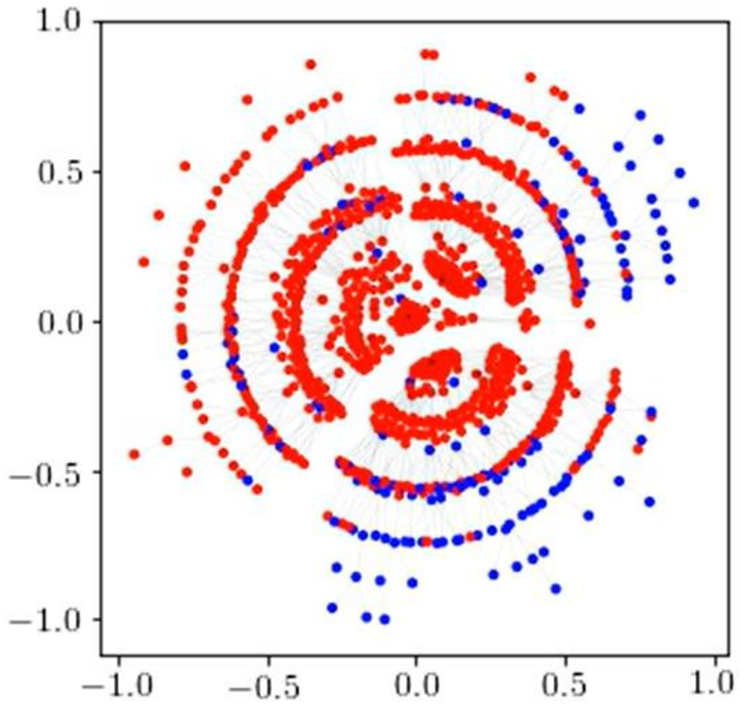






Evolutionäre Spieltheorie auf skalenfreien Netzwerken





Wir simulieren nochmals das gleiche Spiel, wobei wir nun mit einer Anfangskonfiguration starten, bei der lediglich der Spieler mit dem größten Knotengrad (der Hub des skalenfreien Netzwerkes) die rote Strategie wählt.

Die Simulation zeigt, dass sich nun die rote Strategie im Netzwerk ausbreiten kann, jedoch auch im Endzustand gewisse Spielergruppen existieren, die die blaue Strategie präferieren.

Einfürung in die Objekt-orientierte Programmierung

Die meisten Programmiertechniken, die wir bis jetzt kennengelernt haben, verwendeten den Programmentwurfstil der *prozeduralen Programmierung* und wir benutzten meist die Programmiersprache Python bzw. verwendeten Python Jupyter Notebooks. Wir werden nun einerseits den Fokus immer mehr auf die Strukturierung von Programmen legen (das Programmierparadigma der objektorientierten Programmierung) und dies zunächst am Beispiel des in C++ integrierten Klassenkonzept beschreiben. Das Konzept der objektorientierten Programmierung beruht auf der alltäglichen Erfahrung, dass man Objekte nach zwei Maßstäben beurteilt: Ein Objekt besitzt einerseits messbare Eigenschaften und ist aber auch andererseits über seine Verhaltensweisen definiert. Eine *C++ Klasse* ist ein benutzerdefinierter neuer Datentyp, der durch das Schlüsselwort '**class**' gekennzeichnet wird und die gesamte Idee der objektorientierten Programmierung beruht gänzlich auf diesem Konzept der *Klasse*. In einer C++ Klasse werden die messbaren Eigenschaften des Objektes in Instanzvariablen (Daten-Member) gespeichert und durch Konstruktoren werden diese Daten-Member dann initialisiert. Die Verhaltensweisen des Objektes werden durch klasseninterne Funktionen, die sogenannten Member-Funktionen beschrieben. In dem folgenden Link werden die Grundlagen der Objekt-orientierten Programmierung und C++ Klassen allgemein vorgestellt und die dort besprochenen Konzepte werden in den nächsten Vorlesungen benutzt, um das Verhalten der Spieler auf einem komplexen Netzwerk in Objekt-orientierter Weise in den C++ und Python Programmen zu implementieren.

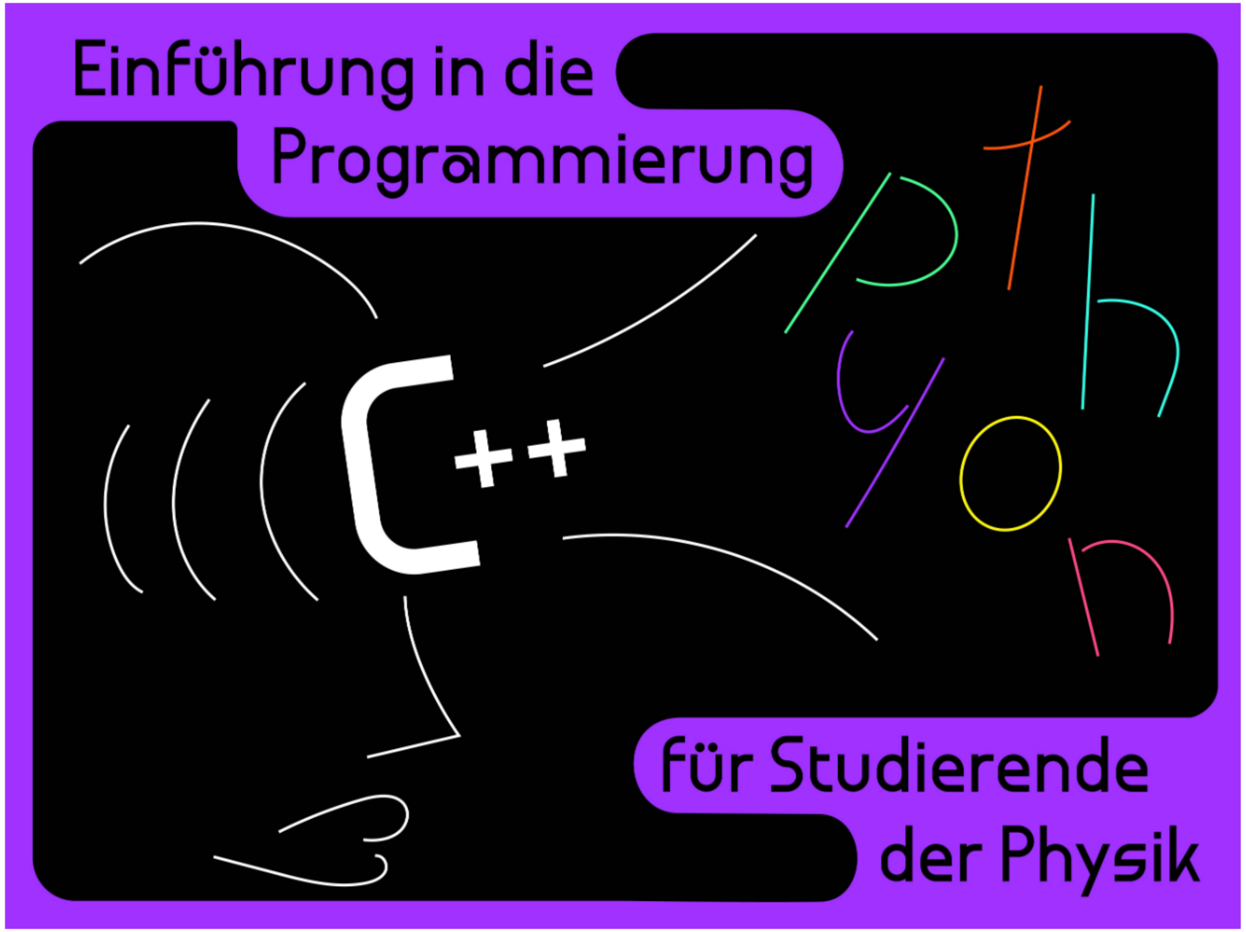


Illustration: Deborah Moldawski

Nächster Zoom Link am 14.07.2022, 14:00-16:00 Uhr: ID: 794 847 5614, PWD: 785453

Die Vorlesung *Einführung in die Programmierung für Studierende der Physik* stellt ein Pflichtmodul im Bachelor Studium Physik der Goethe-Universität Frankfurt dar. Bei regelmäßiger und erfolgreicher Teilnahme an den Übungen/Praktika erhalten Sie eine Zulassung zur Klausur. Den benoteten Schein und sechs Creditpoints erhält man schließlich bei bestandener Klausur. Falls Sie bereits in einem vergangenen Semester (nach der alten Studienordnung) die Zulassung zur Klausur erhalten haben, können Sie direkt an der abschließenden Klausur teilnehmen. Jedoch rate ich Ihnen, die Vorlesung und die Übungen/Praktika trotzdem nochmals zu belegen, da sich die Inhalte und Schwerpunkte zu den vergangenen Vorlesungen unterscheiden könnten.