

# Einfache Regeln, komplexe Dynamiken

## Zur Modellierung von Akteursnetzwerken in den internationalen Beziehungen

Michael Köhler-Bußmeier<sup>1</sup> und Howard Loewen<sup>2</sup>

- (1) Universität Hamburg, Fachbereich für Informatik  
Vogt-Kölln-Str. 30, D-22527 Hamburg  
koehler@informatik.uni-hamburg.de  
(2) Stiftung Wissenschaft und Politik  
Ludwigkirchplatz 3-4, D-10719 Berlin  
howard.loewen@swp-berlin.org

*“Reducing systems to components does not imply the ability to reconstruct them (as anyone who has scrambled an egg innately understands). While it may seem that because we understand one we must also understand two, because one and one make two, this is only true if we also understand and.” (John H. Miller, Santa Fe Institute)*

*“The complexity of agent-based modeling should be in the simulated results, not in the assumptions of the model.” (Axelrod 1997: 5)*

**Zusammenfassung:** Politik, Gesellschaft und Ökonomie können genauso wie die Natur als hochkomplexe dynamische Systeme betrachtet werden. Die interdisziplinär ausgerichtete Komplexitätsforschung versucht, die Dynamik dieser Systeme zu erkennen und zu erklären. Die grundlegende Prämisse dieser Forschungsrichtung lautet, dass Ordnung, Unordnung und Wandel von Systemen durch auf einfachen Regeln beruhende Interaktionen bzw. wechselseitige Beeinflussung ihrer Akteure (z.B. Staaten und internationale Institutionen) zu erklären sind.

Die primäre Methode der Komplexitätsforschung ist die agentenbasierte Simulation, die erst in den letzten Jahren verstärkt zur Anwendung kommt. In dieser Arbeit wenden wir die agentenbasierte Simulation auf ein System politischer Akteure an, um die Dynamik zwischenstaatlicher Finanzkooperation in Ostasien zwischen 1997 und 2009 zu modellieren.

**Schlagworte:** Agentenbasierte Simulation, Internationale Beziehungen, Komplexe Systeme

# 1 Einleitung

Warum brach die 40-jährige Hegemonie der Sowjetunion in Mittel- und Osteuropa im Jahre 1989 innerhalb von wenigen Monaten zusammen? Warum ging dieser Kollaps des kommunistischen Systems so schnell und umfassend vonstatten? Warum sackte der Börsenindex an einem Montag im Oktober 1987 um 500 Punkte nach unten? Wie kann man die kurz bevorstehende Gründung eines Asiatischen Währungsfonds rund 12 Jahre nach der Asienkrise erklären? Diese und viele andere Ereignisse der Weltpolitik verweisen auf instabile Situationen, spontane Ordnungsmuster und Unsicherheit in gesellschaftlichen, ökonomischen und politischen Prozessen. Ihre nichtlinearen Verläufe überraschen uns immer wieder und hinterlassen angesichts einer Fülle von relevanten und miteinander verknüpften Erklärungsfaktoren eine gewisse Hilflosigkeit in den Sozialwissenschaften im Allgemeinen und in der Lehre der Internationalen Beziehungen (IB) im Besonderen. Vieles deutet darauf hin, dass die gängigen macht-, interensensbasierten und kulturorientierten Analysen in den IB keinen hinreichenden Mehrwert bei der umfassenden Erklärung von interdependenten Prozessen der Weltpolitik erzeugen.

In der vorliegenden Abhandlung wird argumentiert, dass Politik, Gesellschaft und Ökonomie genauso wie die Natur als hochkomplexe dynamische Systeme betrachtet werden können. Die interdisziplinär ausgerichtete Komplexitätsforschung versucht, die Dynamik dieser Systeme zu erkennen und zu erklären. Die grundlegende Prämisse dieser Forschungsrichtung lautet, dass Ordnung, Unordnung und Wandel von Systemen (z.B. das internationale System) durch auf einfachen Regeln beruhende Interaktionen bzw. wechselseitige Beeinflussung ihrer Elemente bzw. Akteure (z.B. Staaten und internationale Institutionen) zu erklären sind. Die primäre Methode der Komplexitätsforschung ist die agentenbasierte Simulation, die erst in den letzten Jahren verstärkt zur Anwendung kommt. Gleichwohl ist „agent-based modeling“ in den Sozialwissenschaften immer noch eine relative neue Analysemethode, deren Potential für die Analyse der Internationalen Beziehungen bislang kaum genutzt wird. So können erstens aufgrund der breiten ontologischen Basis der Komplexitätstheorie rationalistische und reflektivistische Theorien miteinander verbunden werden und zweitens komplexe Phänomene simuliert und erklärt werden.

Im Folgenden wird in einem ersten Schritt auf die grundlegenden Konzepte und die Methode der Komplexitätsforschung (Kapitel 2) und ihre Anwendung in den Internationalen Beziehungen eingegangen (Kapitel 3). Auf dieser Grundlage wird ein dynamisches Netzwerkmodell politischer Akteure entworfen, mit dem die Dynamik zwischenstaatlicher Finanzkooperation in Ostasien zwischen 1997 und 2009 modelliert und simuliert wird (Kapitel 4).

## 2 Komplexität und Internationale Beziehungen

Um eine komplexitätstheoretische Analyse internationaler Phänomene durchzuführen, ist es notwendig, zunächst den Begriff der Komplexität zu definieren, einen Blick auf die bereits existierende Forschung in den IB zu werfen und

schließlich die Methode der Sozialsimulation bzw. „agent-based modeling“ vorzustellen.

## 2.1 Komplexe Systeme

Grundlegend für die Entwicklung der heutigen Komplexitätstheorie waren die Erkenntnisse einer kleinen Gruppe von Ökonomen, Informatikern, Mathematikern, Biologen, Physikern und Politikwissenschaftlern, die sich seit 1984 am Santa Fe Institute in Neu Mexiko der Erforschung von komplexen Systemen widmen. Ziel war und ist es, die allgemeinen Gesetze der Emergenz von Ordnungszuständen und -übergängen in komplexen Systemen auf einer abstrakten Modellebene zu verstehen und dann auf die unterschiedlichsten Anwendungsgebiete zu übertragen.<sup>1</sup> Herausragende Forschungsergebnisse wurden von Brian Arthur hervorgebracht, der u.a. das Konzept der steigenden Skalenerträge in die ökonomische Theorie einbrachte (Arthur 1990). Ferner entwickelte Stuart Kauffman Computersimulationen abstrakter, interaktiver Agenten, die helfen sollen, die komplexen Interaktionen innerhalb von Staaten zu erklären. John Holland entwickelte wiederum einen genetischen Algorithmus, der die Grundlage für eine mathematische Theorie komplexer Systeme bilden könnte (Holland 1975). Per Bak entwickelte das Konzept der sich selbst organisierenden Kritikalität, das Auskunft über mögliche Eintrittsmomente von komplexen Systemen in stabilitätsgefährdende kritische Phasen gibt. Murray Gell-Mann schließlich trug entscheidend zur Formulierung der Idee der Ko-Evolution bei, nach welcher Agenten mit dem Ziel interagieren, ein komplexes Netzwerk von Interdependenzen zu schaffen (Rosenau 2000: 110).

Mit dem Konzept des komplexen adaptiven Systems (KAS) hat John H. Holland (1975) einen allgemeinen Modellrahmen skizziert, der die Komplexitätstheorie für sozialwissenschaftliche Anwendungen in Form von Agentensimulationen anschlussfähig macht. Holland definiert ein KAS als ein dynamisches Netzwerk mit zahlreichen Akteuren (i.e. Zellen, Arten, Personen, Unternehmen, Staaten, Internationales System, Internationale Institutionen), die parallel agieren und ständig auf das Verhalten anderer Akteure reagieren. Die Kontrollmechanismen eines KAS sind verstreut und zumeist dezentral. Ein zusammenhängendes Verhalten im System wird durch Konkurrenz- und Kooperationsbeziehungen der Akteure bestimmt. Das Systemverhalten ist das Resultat einer großen Anzahl von Interaktionen oder Entscheidungen, die von den einzelnen Akteuren oder Agenten getroffen werden (Waldrop 1992: 11-12).

Daraus folgt, dass die Beziehungen oder Interdependenzen zwischen den Elementen oder Akteuren den Systemcharakter eines Phänomens ausmachen. Die Fähigkeit der Akteure, Verhaltensroutinen zu verändern und somit neue Rückkopplungsprozesse in Gang zu setzen, bestimmt die Komplexität eines Systems

---

<sup>1</sup>Das Santa Fe Institute hat eine Vielzahl von Publikationen zur Komplexitätstheorie im Allgemeinen hervorgebracht, siehe u.a. Cowan, George A/Pines, David/Meltzer, David (1994): *Complexity. Metaphors, Models, and Reality*, Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity, Proceedings Vol. 19, Redwood City: Addison-Wesley; Holland, John H. (1995): *Can There Be A Unified Theory of Complex Adaptive Systems?*", in: Harold J. Morowitz, Jerome L. Singer, editors. *The Mind, The Brain, and Complex Adaptive Systems*, Redwood City: Addison-Wesley.

(in einem einfachen System verhalten sich die Akteure immer auf eine bestimmte und somit berechenbare Art und Weise). Die Fähigkeit der Akteure oder Agenten, bewusst oder unbewusst, jedoch in jedem Falle kollektiv auf neue Herausforderungen zu reagieren, bestimmt den Anpassungscharakter dieses Systems. So lassen sich beispielsweise Staaten, urbane Gemeinschaften und das internationale System als KAS konzeptualisieren. Wie in jedem komplexen adaptiven System befinden sich seine Elemente oder Akteure auf den ersten Blick in geordneten Strukturen, die jedoch in Reaktion auf Veränderungen der Systemumwelt und interner Stimuli Transformationsprozessen unterworfen sind.

Zwar können wir in der Weltgeschichte immer wieder lineare bzw. stabile Phasen des internationalen Systems identifizieren. Ein Beispiel ist die Phase des Kalten Krieges, die durch die eine systemische Bipolarität und somit inhärente Stabilität gekennzeichnet war. Doch wurden diese immer auch von z.T. drastischen und spontanen Wandlungsprozessen abgelöst. Die Ära der Globalisierung insbesondere nach dem Ende des Kalten Krieges ist eine solche Phase der Transformation, eine Ära weltpolitischer Turbulenzen, in der alle sozialen Systeme mit Anforderungen konfrontiert werden, die teilweise in direktem Gegensatz zueinander stehen und somit die Erklärung und das Verstehen dieser Prozesse auf linearem Wege schier unmöglich machen (Urry 2004).

Lineare, mechanistische und reduktionistische Denkmuster bestimmen zwar immer noch einen Großteil der Wissenschaften, geraten jedoch angesichts der zunehmenden Unüberschaubarkeit der Welt unter zunehmenden Konkurrenzdruck durch nicht-lineare Analysemethoden. Grundsätzlich beruht das lineare Weltbild bzw. Paradigma auf folgenden Annahmen (Geyer 2005: 34): a) Existenz kausaler und somit proportionaler Zusammenhänge von Ursache und Wirkung jenseits von Zeit und Raum (Ordnung), b) Das Ganze ist die Summe seiner Einzelteile. Ein System kann durch die Analyse des Verhaltens seiner Bestandteile verstanden werden (Reduktionismus), c) Wenn das Verhalten eines Systems definiert ist, kann auch seine zukünftige Entwicklung prognostiziert werden (Vorhersagbarkeit), d) Prozesse vollziehen sich auf geordnete und vorhersehbare Weise und weisen klare Start- und Endpunkte auf.

Die Komplexitätstheorie negiert zwar obige Annahmen, bezieht sich jedoch neben Komplexität (nicht-lineare Muster) auch auf Ordnung (lineare Muster) und Unordnung (alineare Muster) als möglichen Systemzuständen. Dies ist notwendig, um Phasenübergänge komplexer Systeme darstellen zu können. Im Gegensatz zu Chaos und Ordnung kann Komplexität folgendermaßen abgegrenzt werden:

Aus der obigen Diskussion lassen sich drei Voraussetzungen für die Existenz eines komplexen adaptiven Systems identifizieren:

**1) Emergenz und Selbstorganisation** Emergenz bezeichnet Eigenschaften eines komplexen Systems (Makroebene), die ungleich der Eigenschaften seiner Elemente sind und erst durch die nicht-lineare Interaktion der Elemente bzw. Agenten (Mikroebene) entsteht. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die emergenten Eigenschaften eines Systems nicht auf die Eigenschaften der Agenten zurückzuführen sind, die diese für sich aufweisen. Die Ausformungen oder Ge-

Ordnung	Komplexität	Unordnung/Chaos
Lineares Paradigma	Nicht-lineares Paradigma	Alineares Paradigma
Rationalität	Eingeschränkte Rationalität	Irrationalität
Vorhersagbarkeit	Begrenzte Vorhersagbarkeit	totale Unvorhersagbarkeit
Determinismus	Evolutionärer Wandel	Kausalität ist bedeutungslos
keine inhärenten Begrenzungen menschlichen Wissens und Fortschritts	Unsicherheit begrenzt Wissen und Fortschritt signifikant	Schaffung von Wissen und Fortschritt sind einer Analyse nicht zugänglich

Tabelle 1: Ordnung, Komplexität und Chaos (Geyer 2003: 244)

staltungsprozesse eines selbstorganisierenden Systems gehen von den Elementen selbst und der daraus entstehenden internen Dynamik aus. So ist beispielweise die NATO im Jahre 1949 grundsätzlich verschieden von der NATO im Jahre 2009. Ihre emergenten Strukturen bzw. Anpassungsmechanismen haben die internationale Sicherheitsinstitution nicht in einer völlige andere Struktur verwandelt. Ihre interne Dynamik – beeinflusst durch externe Umweltveränderungen – erlaubten der NATO, sich an Wandel anzupassen.

**2) Adaption und Co-Evolution** Soziale, ökonomische und politische Systeme sind lernfähige Strukturen. Sie streben danach, eine Balance zwischen internen Bedürfnissen und externen Anforderungen aufrechtzuerhalten. Sie stehen somit in einem wechselseitigen Anpassungszusammenhang mit ihrer Umwelt, die sich aus anderen Systemen zusammen setzt. Daraus ergeben sich Prozesse der Co-Evolution der Systeme und ihrer Umwelt. Kein System kann auf Dauer ohne adaptive Prozesse überleben. Unter komplexen Umweltbedingungen intensivieren sich die Rückkopplungsprozesse. Diese verweisen auf die Tatsache, dass Evolution kein linearer und kontinuierlicher Prozess ist. Phasen des Wandels bzw. Phasenübergänge lösen Phasen langsamen Wandels und in seiner extremen Form des Stillstands oder Gleichgewichts ab und führen zu Emergenz und Selbstorganisation von Ordnung wachsender Komplexität (Mainzer 2008: 43). Während die NATO und der Warschauer Pakt beide im Rahmen des Kalten Krieges entstanden sind und somit eine jeweilige Antwort der westlichen und östlichen Staaten- und Sicherheitssysteme auf das Verhalten der jeweils anderen Seite verstanden werden können, ist der Zusammenbruch des Warschauer Pakts und die andauernde Existenz der NATO über 1989 hinaus ein Zeichen für die Anpassungsfähigkeit der letzteren.

**3) Macht kleiner Ereignisse und Sensitivität in Bezug auf Anfangsbedingungen** Kleine, auf den ersten Blick nicht unbedingt signifikante Ereignisse können in komplexen dynamischen Systemen große Folgen haben. Das bekannteste

Beispiel ist das des Schmetterlings, dessen Flügelschlag unter instabilen Wetterbedingungen zu Veränderungen der globalen Wetterlage führen kann (Lorenz 1963). Ähnliche Ereignisse mit globalen Folgen für soziale und politische Systeme sind die Freisetzung von Nelson Mandela, in deren Folge die grundlegende Transformation Südafrikas entscheidend befördert wurde, sowie die Ermordung von Franz Ferdinand im Jahre 1914, die den Beginn des 1. Weltkrieg einläutete. Daraus folgt, dass komplexe adaptive Systeme in bestimmten Momenten sehr empfindlich auf interne oder externe Ereignisse oder Stimuli reagieren, die in der Folge zu substantiellem, spontanem oder dramatischem Wandel des Gesamtsystems führen können.

Die grundlegende Forschungsfrage der Komplexitätsforschung lautet also: *Wie können aus lokalen Interaktionen von heterogenen Akteuren bzw. Agenten makroskopische Strukturen bzw. soziale Regelmäßigkeiten entstehen?* Um diese Frage zu beantworten, kann man über qualitative oder quantitative Methoden bzw. Simulationen die Dynamiken komplexer adaptiver Systeme verstehen und somit das Verständnis für nichtlineare Situationen, Systemübergänge und Systemzustände in der Weltpolitik signifikant zu erhöhen. Dies erfordert notwendigerweise die Überwindung von Fächergrenzen, insbesondere zwischen den Naturwissenschaften bzw. Ingenieurwissenschaften und den Sozialwissenschaften.

## 2.2 Internationale Beziehungen

Die Übertragung der Komplexitätstheoretischen Erkenntnisse auf die Theorien der Internationalen Beziehungen verlief eher langsam und zumeist unvollständig. Begriffe wie „complex interdependence“ (Nye 1993: 169), „complex security“ (Booth 2005: 275) und „complex learning“ (Alexander Wendt 1999: 170) wurden in den meisten Fällen als Metapher benutzt, um die insbesondere seit dem Ende des Ost-West-Konflikts immer größer werdende Komplexität der Weltpolitik zu beschreiben. Einig waren sich zu diesem Zeitpunkt alle Vertreter dieser Richtung darin, dass sich die klassischen Theorien der Internationalen Beziehungen kaum eignen, nicht-lineare politische und soziale Phänomene zu erfassen und zu erklären.

Um diese Leerstelle zu besetzen, entstanden in den letzten 15 Jahren zahlreiche Arbeiten auf der Basis von Komplexitätskonzepten, die sich verschiedenen Fragen der internationalen Politik widmeten. Die folgende Auswahl an Studien verdeutlicht diese dynamische Entwicklung (Kavalski 2007: 442): Europäische Integration (Barry and Walters 2003; Walby 2007; Whitman 2005; Geyer 2005); Konfliktmanagement (Bueno de Mesquita 1998, Davis 2004; Pil-Rhee 1996); Entwicklung (Farrell 2004; Parfitt 2006; Rihani 2002); Staatsentstehung (Cederman 1997); Politische Entscheidungsfindung (Feder 2002; Kiel 1992; Wallace and Suedfeld 1998); Sicherheitspolitik (Alberts and Czerwinski 1997; Dillon and Wright 2006; Dunn 2007; Elhefnawy 2004); Globalisierung (Chesters 2004; Geyer 2003a; Grande and Pauly 2005; Rosenau 1990, Urry 2004; Walby 2007; Whitman 2005); Geschichte des Internationalen Systems (Beaumont 1994; De Landa (1997), Hoffmann and Riley 2002; Jervis 1997; Richards 2000; Rosenau 1990); Verbindung rationalistischer und reflexiver Ansätze (Geyer 2003 b); Postmoderne (Cilliers 1998); Konstruktivismus (Adler 2005; Cedermann 1997); Revision

rationaler IB Paradigmen (Axelrod 1997; Byrne 1998; Jervis 1997). All den genannten Autoren ist gemeinsam, dass sie das internationale System als ein komplexes adaptives System verstehen: Es verfügt über eine hohe Anzahl von Elementen bzw. Akteuren, die nicht-lineare und lokale Interaktionen untereinander aufweisen. Ferner ist das internationale System offen, baut primär auf lokalen Informationen auf, agiert unter nicht-gleichgewichtigen Bedingungen, besitzt eine Geschichte und setzt sich aus Elementen zusammen, die kein umfassendes Wissen über das Verhalten des Gesamtsystems haben (Harrison 2006: 2). Ferner kann den obigen Ausführungen entsprechend (siehe Tab. 1) argumentiert werden, dass Phänomene der Internationalen Beziehungen je nach ihrer Beschaffenheit dem linearen, komplexen oder alinearen Paradigma zugeordnet werden können (siehe Abb. 1).

Komplexität					
Ordnung (linear)	←	Nicht-lineare Phänomene		→	Unordnung (alineare)
Rahmen- beding- ungen und Machtbezie- hungen	Entschei- dungs- findung in Inter- nationalen Institutio- nen	Interaktionen von Staa- ten und nicht-staatl. Akteuren	Nationalismus		Langfrist. Entwicklun- gen

Abbildung 1: Reichweite komplexer Dynamiken in den IB

Signifikante Machtunterschiede zwischen Staaten können aufgrund ihrer Bestandsmächtigkeit als lineare Muster internationaler Beziehungen gelten. Am anderen Ende der Skala sind die langfristigen Entwicklungen des Internationalen Systems anzuordnen, die gänzlich unsicher sind und somit einen hohen Grad an Unordnung aufweisen. Wer hätte z.B. Mitte des 19. Jahrhunderts vorhersehen können, dass zwei Weltkriege stattfinden würden, der Kommunismus entstehen und sich ausweiten sowie die USA eine dominante Weltmacht werden würde. Zwischen diesen beiden Extremen sind nicht-lineare und somit komplexe Phänomene wie z.B. die Entscheidungsfindung in Internationalen Institutionen, Interaktionen von Staaten und nicht-staatlichen Akteuren sowie Nationalismus anzusiedeln.

Die existierenden Theorien der internationalen Beziehungen tun sich bislang schwer damit, komplexe Phänomene zu analysieren, da ihre Diversität und antagonistischen Ontologien und Methoden es kaum erlauben, einen umfassenden Blick auf komplexe Phänomene sowie ihre linearen und alinearen Übergänge zu werfen. Dieses Problem spiegelt sich besonders deutlich im Gegensatz zwischen rationalen bzw. positivistischen Theorien und reflektivistischen Theorien im Rahmen der so genannten 3. und 4. Debatte der IB in den 1980er und 90er Jahren wider (Smith 2007: 5) (siehe Tab. 2).

Rationalistische Theorien der IB wie der Realismus und der Liberale Institutionalismus beziehen sich weitestgehend auf lineare Beziehungsmuster und

Aggregatdaten in einem einfach gehaltenen Weltsystem. Es geht um die Aufdeckung kausaler Beziehungszusammenhänge zwischen dem Verhalten internationaler Akteure und entsprechenden unabhängigen Mastervariablen (Macht, Interesse), die auf der Grundlage einer zumeist positivistischen Methodologie analysiert werden. Vertreter „harter“ reflexiver Theorien der IB wie der Kritischen Theorie, des Poststrukturalismus und des Feminismus lehnen eine positivistische Epistemologie grundsätzlich ab. Sie verweisen in diesem Zusammenhang auf den Gegensatz zwischen Erklären und Verstehen als Ausgangspunkt für ihr Hauptargument, nach dem die Realität „ihre Bedeutung immer in einem größeren Kommunikations- und Diskurszusammenhang erlangt“ (Spindler/Schieder 2003: 22).

Eine mittlere Position in diesem ontologischen und epistemologischen Gegensatz zwischen rationalistischen und reflexiven Ansätzen nimmt der soziale Konstruktivismus ein: Er negiert die Annahme eines rationalen Akteurs, indem er *soziale Normen, Ideen, Identitäten und Kultur* als das Verhalten von Staaten maßgeblich bestimmende Variablen betrachten. Im Grunde beruhen beide Theoriestränge auf verschiedenen Menschenbildern: Das *ökonomische Verhaltensmodell* beruht auf der Prämisse, dass menschliches Verhalten rational und somit an utilitaristischen Kosten-Nutzen-Kalkülen orientiert ist. Im Gegensatz zum wirtschaftswissenschaftlichen Verhaltensmodell relativiert der *soziologische Ansatz* die Wirkungsmächtigkeit materieller Faktoren und verweist stattdessen auf Normen, Identitäten und Werte als maßgeblichen Bestimmungsfaktoren menschlichen Handelns. Es versteht sich von selbst, dass keine dieser Grundannahmen über ein „Erklärungsmonopol“ verfügt. Vielmehr ist es so, dass sie jeweils entsprechend ihres Blickwinkels spezifische Ausschnitte der Wirklichkeit menschlichen Handelns beleuchten und Erklärungsversuche anbieten.

Die Komplexitätstheoretiker in den Internationalen Beziehungen gehen von der Annahme aus, dass das internationale System nur dann verstanden werden kann, wenn es als komplex adaptiv konzeptualisiert wird. Dies impliziert, dass die internationale Welt als interdependentes System zu sehen ist, in dem die Beziehungsmuster zwischen den Akteuren nicht statischer, sondern dynamischer Art sind. Diese auch als Selbstorganisation verstandenen Prozesse geben in ihren verschiedenen Ausprägungen Auskunft über die Anpassungs- und Lernfähigkeit des KAS (Cedermann 1997: 50). Einordnen lässt sich die Bedeutung der Diskussion über das Komplexitätsparadigma für die Theorieentwicklung der Internationalen Beziehungen in die bislang geführten paradigmatischen Standortdebatten (siehe Tab. 3).

Das vereinigende Band der politikwissenschaftlichen Komplexitätsforschung basiert auf einer *prozessualen Ontologie*, die als logische Basis aller komplexen adaptiven Systeme gesehen wird (Harrison 2006b: 13). Diese grundlegende prozessuale Sicht auf die Weltpolitik geht einher mit einer erkenntnistheoretischen Standortbestimmung, die nicht mehr vom Positivismus/Rationalismus, sondern von einer evolutionären Sichtweise bestimmt wird. Wenn nicht-lineare Prozesse die Beschaffenheit unserer Welt signifikant bestimmen, dann folgt daraus, dass sie ebenfalls eine bedeutsame Auswirkung auf die Wissensgenerierung bzw. Epistemologie haben, die konventionelle bzw. lineare Analysemethoden weitestge-

	Rationalismus	Konstruktivismus
Ontologie	IB sind materielle Tatsachen, von den Akteure betroffen sind, ob sie wollen oder nicht	IB sind soziale Tatsachen, die erst durch die Kommunikation zwischen Akteuren zu Tatsachen werden
Epistemologie	IB sind analytisch zugänglich und unvermittelt erkennbar (i.e. Wie setzen Staaten ihre Interessen durch?)	IB sind hermeneutisch zugänglich und können über Interpretationen erschlossen werden (i.e. Welche Vorstellungen liegen Akteurshandeln zugrunde?)
Akteurskonzept	Homo oeconomicus; Zweckrationaler Akteur mit fixen Interessen und Zielen	Homo sociologicus; Konzept des wert-, norm- und regelgeleiteten Akteurs auf Grundlage sozialer vermittelter, historisch geprägter Erfahrungen
Handlungslogik	Logik der Konsequentialität. Wie kann Nutzen maximiert werden? (Betonung materieller Faktoren) Logik der Angemessenheit	Welche Norm ist in welcher Situation angemessen? (Betonung ideeller Faktoren)
Außenpolitik	Außenpolitik als Anpassungsprozess	Außenpolitik als Lernprozess

Tabelle 2: Unterschiede zwischen rationalistischen Ansätze der IB (Realismus, Liberaler Institutionalismus) und dem sozialen Konstruktivismus

	1. Debatte	2. Debatte	3. Debatte	4. Debatte	5. Debatte
Zeitraumen	1920-1930	1950-1960	1980er	1990er	2001-
Paradigma	Idealismus vs. Realismus	Behavioralismus vs. Traditionalismus	Post-Positivismus vs. Positivismus	Konstruktivismus vs. Rationalismus	Linearität vs. Nicht-Linearität
Fokus	Normative Sichtweise vs. Wie ist Politik beschaffen? (balance of power)	Szientezismus/Erklären vs. geisteswiss. Verstehen	Epistemologie: Post-Positivismus, kritische Theorie vs. Positivismus	Ontologie: soziale vs. Materielle Orientierung	Epistemologie und Ontologie: Akzeptanz vs. Negation eines <i>biological turn</i>
Innovation	Staaten-system vs. intern. Gesellschaft	Übertragung der Verhaltens- und Handlungstheorie	Verstehen vs. Erklären	Kausales vs. konstitutives Erklären/Verstehen	Nicht-Zusammenhang zwischen natürlichen und sozialen Systemen vs. Zusammenhang; Mögliche Überwindung des Gegensatzes zwischen rationalen und reflexiven Theorien

Tabelle 3: Paradigmatische Debatten in den IB (Kavalski 2007: 445)

hend ablehnt und nicht-lineare Methoden favorisiert (Urry 2004: 6; Geyer 2005: 53).

Der Vorteil einer komplexen Theorie der internationalen Beziehungen liegt in ihrer potentiellen Brückenfunktion zwischen rationalen und reflexiven Ansätzen. Auf der einen Seite wird von postmodernen Ansätzen die naturalistische Sichtweise der rationalen Theorien kritisiert, während die Rationalisten den Reflektivisten aufgrund ihrer Negation empirisch-analytischer Herangehensweisen eine illegitime bzw. unwissenschaftliche Arbeit vorwerfen. Während der soziale Konstruktivismus aufgrund analytischer Unvereinbarkeiten und der Kritik der beiden theoretischen Lager vergeblich versuchte, beide Paradigmen zu integrieren, könnte der Komplexitätstheorie genau dies gelingen. Denn ihre Ontologie enthält bereits all jene Elemente, die bislang unvereinbar schienen, nämlich *Ordnung und Unordnung* bzw. *Linearität und Nicht-Linearität*. In diesem Zusammenhang bemerkt Geyer treffend: "Complexity theory argues that order complexity and disorder all play a role in the creation of the natural and human world" (Geyer 2003: 19).

Darüber hinaus, so Geyer, beruhe die reflektivistische Kritik am Rationalismus auf einer veralteten Sichtweise der Naturwissenschaften, die für immer und ewig der Suche nach universellen Gesetzen verhaftet sei. Im Gegenteil hätten die Naturwissenschaften in den letzten zwei Jahrzehnten eine kuhnsche Revolution durchlaufen, welche die weitestgehende Ablösung des linearen durch das nicht-lineare Paradigma zum Ergebnis hatte. Dies bedeutet, dass der für die Sozialwissenschaften immer wieder postulierte Gegensatz zwischen Rationalisten und Reflektivisten unter Berufung auf das lineare Paradigma der Naturwissenschaften keine Grundlage mehr hat. Ohne diesen Antagonismus können weder Rationalisten noch Reflektivisten eine Art Anrecht auf die „wahre“ Erklärung der Wirklichkeit für sich beanspruchen, da beide nur jeweils Teile eines Bildes beschreiben. In den internationalen Beziehungen gewinnt mit den „kritischen Realisten“ denn auch jene Richtung an Gewicht, die materialistische und ideelle Faktoren gemeinsam in den Forschungsprozess integrieren (Patomäki und Wight, 2000).

Der ontologische Brückenschlag der Komplexitätstheorie manifestiert sich auch in einer offen Wahl der Methoden. Da es bislang noch keinen Königsweg der Analyse komplexer Systeme gibt, existieren verschiedene nicht-lineare Analysemethoden nebeneinander, seien sie nun quantitativer oder qualitativer Art. In der komplexen Theorie der internationalen Beziehungen überwiegen quantitative Methoden und Computersimulationen, die zur Modellierung von Multiagentensystemen auf der Basis mathematischer Algorithmen beruhen (Axelrod 1997; Miller/Page 2007; Cedermann 1997; Pil-Rhee 1999). Zu den bedeutendsten qualitativen Methoden gehören die von Cederman entworfene kognitive Methode des kontrafaktischen Argumentierens in historischen Zusammenhängen sowie die Modellierung von Komplexität durch Szenarien (Feder 2002).

## 2.3 Agentenbasierte Modellierung

Der bislang erfolgversprechendste Weg, das Verhalten von komplexen adaptiven Systemen zu erklären und zu prognostizieren, ist die Anwendung von computer-

gestützten Simulationen. Die seit den 1990er Jahren verwendete Methode der agentenbasierten Modellierung (ABM) sozialer und politischer Prozesse eröffnen die Möglichkeit, „künstliche“ Gesellschaften oder Systeme zu kreieren, in denen Individuen und kollektive Akteure dargestellt und die Effekte ihrer Interaktionen auf der System- bzw. Makroebene beobachtet werden können. Die entsprechenden Computerprogramme ermöglichen es dem Wissenschaftler, die *Emergenz sozialer Institutionen durch individuelle Interaktionen* zu erforschen und *Computer codes als Mittel zur Formalisierung sozialer und politischer Theorien* zu verwenden (Gilbert 2008: 1; Epstein 2006: 5; Axelrod 1997: 4).

Ein Vorteil von Computerprogrammen, die politisches oder soziales Handeln simulieren, ist, dass es zwingend erforderlich ist, die theoretischen und methodischen Basisannahmen klar zu formulieren. Nur so kann ein brauchbares Simulationsmodell entwickelt werden, das Aussagen über die Entstehung von Phänomenen auf der Makroebene durch Mikrointeraktionen hervorbringen kann. Auf dieser Grundlage konnte der Politikwissenschaftler Robert Axelrod im Jahre 1995 nachweisen, dass die Entstehung neuer politischer Akteure im internationalen System auf wenigen, einfachen Interaktionsregeln von simulierten Staaten beruhen (Axelrod 1995). Der Wirtschaftswissenschaftler Thomas C. Schelling (1971) konnte in einer Simulation zeigen, dass ein hohes Maß an Segregation in ethnisch gemischten Wohngebieten auch dann auftritt, wenn die einzelnen Akteure weitgehend bereit waren, mit Menschen anderer Herkunft zusammen zu leben. Im Bereich der Meinungsforschung konnte auf der Grundlage eines einfachen Handlungsmodells gezeigt werden, dass Minderheiten, deren Meinungen nicht von anderen zu beeinflussen sind, in der Lage sind, die Mehrheit zu ihren Gunsten zu beeinflussen (Deffuant 2006).

Agentenbasierte Modelle (ABM) können folgendermaßen charakterisiert werden (Gilbert 2008: 14-16; Epstein (2006): 51-52): Sie weisen erstens eine **ontologische Übereinstimmung** zwischen den durch Computer codes generierten Agenten und den realen Akteuren auf. Diese erleichtert das Design des Modells und die Interpretation der Simulationsergebnisse. So könnte beispielsweise das Modell einer kommerziellen Organisation Agenten enthalten, welche die Mitarbeiter, die Kunden, die Zulieferer und andere signifikante Akteure repräsentieren. Agentenbasierte Modelle können zweitens die realweltliche **Heterogenität der Agenten** darstellen. Sie tun dies, indem Präferenzen und sogar spezifische Handlungsregeln als Agenteneigenschaften modelliert werden. Damit können die Annahmen vieler ökonomischen Theorien, nach der Akteure identisch oder homogen konzeptualisiert werden, relativiert werden und zugunsten einer realistischeren Analyse modifiziert werden. Drittens ist es möglich, die **Umwelt der Akteure** in einem agentenbasierten Modell zu repräsentieren. Dies kann durch die Berücksichtigung physischer Aspekte (i.e. physische Barrieren oder geografische Hindernisse), durch die Effekte der Handlungen anderer Agenten aus der näheren Umgebung und durch Faktoren wie Ressourcenraubbau und Überbevölkerung geschehen. Ein wesentlicher Vorteil der ABM ist viertens die Möglichkeit, **Agenteninteraktionen** zu simulieren. Auf einer einfachen Stufe können diese Interaktionen aus dem Datentransfer zwischen zwei Agenten bestehen. Aber auch der weitaus kompliziertere Austausch von Informationen in einer bestimmten Sprache sowie die damit verbundene Konstruktion der Nach-

richt und ihrer Interpretation können als Interaktion verstanden und modelliert werden. Fünftens kann in ABM der Tatsache Rechnung getragen werden, dass menschliches Verhalten überwiegend nicht vollständig rational oder irrational, sondern zumeist „begrenzt rational“ ist (**bounded rationality**). Dieses auf den grundlegenden Arbeiten von Herbert A. Simon (1955) beruhende Konzept besagt, dass die begrenzten kognitiven Fähigkeiten der Menschen ebenfalls den Grad ihrer Nutzenmaximierung bei Entscheidungsfindungen beeinflussen. Diese beschränkte Rationalität kann in ABM durch die entsprechende Ausstattung der Agenten dargestellt werden. Schließlich ist es sechstens möglich, **Lernprozesse** sowohl auf der individuellen als auch auf der Systemebene zu simulieren. Die Modellierung von Lernprozessen kann auf drei Wegen vollzogen werden: a) individuelles Lernen, bei dem Agenten auf ihre eigene Erfahrung zurückgreifen, b) evolutionäres Lernen, das, ausgehend von einer bestimmten Agentenpopulation, auf Prozesse des „Aussterbens“ von einigen Agenten, die dann durch besser angepasste Agenten ersetzt werden, verweist, c) soziales Lernen, bei dem einige Agenten andere imitieren oder von ihnen lernen, was wiederum zu einer Verteilung individuell erlangten Wissens auf die gesamte Population führt.

Modelle zur Analyse des internationalen Systems werden nicht allein von der Prämisse getragen, dass Akteure nicht rational im Sinne des rational-choice Paradigmas sind, sondern eher adaptives Verhalten i.e.S. zeigen (Axelrod 1997: 4). Ferner ist zu berücksichtigen, dass ein Simulationsmodell der Internationalen Politik auch auf Konzepte bzw. Theorien der IB zurückgreifen muss, um einen Erklärungsmehrwert schaffen zu können. Es wird hier davon ausgegangen, dass Simulation und Theorierekonstruktion zu großen Teilen äquivalent sind. Der vorliegende Beitrag will deshalb versuchen, einen Beitrag zur Weiterentwicklung des Agenten-basierten Modellierens von komplexen Phänomenen der Internationalen Politik auf der Basis bereits existierender Theorien zu leisten.

## 2.4 Zusammenfassung

Die Komplexitätsforschung befasst sich mit der Modellierung und Simulation von komplexen, dynamischen Systemen, die in Natur, Ökonomie, Gesellschaft und Politik zu identifizieren sind. Während ein kuhnscher Paradigmenwechsel hin zu einer nicht-linearen Betrachtungsweise die Naturwissenschaften schon längst erfasst hat, hinken die Sozialwissenschaften im Allgemeinen und die Politikwissenschaften bzw. Internationalen Beziehungen im Besonderen bei der Anwendung dieser Erkenntnisse hinterher. Gleichwohl hat die 5. Theoriedebatte der IB in Form der Gegenüberstellung von linearen und nicht-linearen Betrachtungen der Weltpolitik bereits begonnen. Einerseits kann eine Komplexitätstheoretische Perspektive einen wertvollen Beitrag zur Theorieentwicklung in den IB leisten, indem eine breite bzw. offene Ontologie postuliert wird, die so in der Lage ist, rationalistische und reflektivistische Ansätze zu verbinden. Darüber hinaus kann der Ansatz durch die Methode des agentenbasierten Modellierens bereits existierende Theorien informationstheoretisch aufbereiten und durch Simulation testen.

Grundsätzlich ist die agentenbasierte Modellierung eine Methode der Komplexitätstheorie mit der soziale, politische und ökonomische Dynamik simuliert und

somit analysiert werden kann. Die grundlegende Prämisse lautet, dass Makro-Phänomene aus dem individuellen Verhalten auf der Mikroebene erklärt werden können. Deshalb werden Individuen, Staaten etc. als Agenten mit simplen Verhaltensalgorithmen programmiert. Der Computer ermöglicht in einem zweiten Schritt die Interaktion dieser Agenten und bringt im idealen Falle eine soziale Dynamik, die der Dynamik des empirischen Phänomens gleicht, hervor, die auf der Grundlage der Verhaltensregeln untersucht werden kann. Das Potential der ABM für die Analyse internationaler Phänomene ist bislang kaum genutzt worden, was u.a. auch damit zusammenhängt, dass die Zusammenarbeit zwischen Informatik und Politikwissenschaften bzw. Internationalen Beziehungen noch nicht sehr weit vorangeschritten ist. Das folgende Kapitel stellt die Umriss eines Modells dar, das im Rahmen eines gemeinsamen Projektes zwischen dem Institut für Informatik der Universität Hamburg und dem GIGA German Institute of Global and Area Studies entwickelt wurde.

### **3 Dynamisches Netzwerkmodell internationaler Akteure**

Im Folgenden formulieren wir ein Modell internationaler Akteure, die in ein Interaktionsnetzwerk eingebunden sind. Unser Modell verfolgt dabei zwei Ziele: Zum einen sollen im Modell Mikro- und Makro-Aspekte gleichberechtigt zum Ausdruck kommen, d.h. die Akteure als Mikroelemente und das Akteursnetzwerk als Makroelement begegnen einander „auf gleicher Augenhöhe“. Zweitens streben wir einen Modellminimalismus an, d.h. die Spielregeln, nach denen die Interaktionen von Netzwerk und Akteur Effekte zeigen, sollen auf „brutale“ Art und Weise schlicht sein – das Modell soll aber gleichzeitig nicht übersimplifiziert sein. Dies ist zunächst kein Widerspruch, denn wie die Komplexitätsforschung zeigt, können schon sehr einfache Regeln eine extrem reiche Dynamik besitzen.

Betrachten wir zunächst, wie das wechselseitige Verhältnis von Mikro- und Makroelementen zu konzeptionieren ist, bevor wir uns den Spielregeln widmen.

#### **3.1 Netzwerke als abhängige Variable vs. Netzwerke als unabhängige Variable**

Das Akteursnetzwerk bildet für unser Modell die unabhängige Variable. Dies unterscheidet unser Modell von solchen, bei denen Netzwerke einen Kontext bilden, in denen sich Interaktionen vollziehen, und von solchen, bei denen Netzwerke aus den Interaktionsdaten (insbesondere der Häufigkeit sowie der Intensivität von Interaktionen) herausgearbeitet werden. Im ersteren Fall ist das Netzwerk kontextuelle Struktur, die zumeist sogar als statisch aufgefasst wird. Im zweiten Fall existieren Netzwerke strenggenommen gar nicht, zumindest nicht als Modellkonstrukt, da sie erst nachträglich aus anderen Modellvariablen durch einen externen Beobachter aggregiert werden.

In unserem Modell zeigt sich das Netzwerk janusköpfig: Ein Akteursnetzwerk ist zu jedem Zeitpunkt Kontext für die Akteure, wirkt insofern also handlungsrahmend. Gleichzeitig wird das Akteursnetzwerk stetig von den Handlungen der

Akteure geformt. Handlungen und Netzwerk sind also zwei Variablen, die aufeinander bezogen sind. Sie sind zwar als Konzepte analytisch trennbar, in Ihrer Dynamik aber nur durch ihre wechselseitige Konstitution denkbar.

Wir geben somit keiner Perspektive den Vorzug, sondern stellen stattdessen ihren wechselseitigen Konstitutionsprozess in den Vordergrund. Dies verschiebt den Fokus weg von der Frage „Welche Attribute besitzen Akteure bzw. Netzwerke?“ hin zu der Frage „Wie sehen die Mechanismen aus, in denen sich Akteure und Netzwerk verknüpfen?“. Zu der soziologischen Sicht auf diese Akzentverschiebung und ihre Auswirkungen auf die Modellierung sozialer Interaktion siehe die Vorarbeiten (v. Lüde u.a. 2003, 2009).

### 3.2 Einfache Handlungsregeln als Erklärungsmuster komplexer Dynamiken

Wir haben drei Dimensionen, um die Struktur unseres Modells festzulegen. Die erste Dimension beschreibt den Akteur, die zweite Dimension das Netzwerk und die dritte die Wechselwirkungsrelation zwischen beiden. Logisch gesehen gehen die beiden ersten Punkte dem dritten voraus, setzt doch die Relationierung das Relationierte voraus.

Wie wir die Dimensionen ausstatten hängt jetzt von unserem Erkenntnisinteresse sowie von dem gewählten Ansatz ab. Man ist zunächst versucht, Akteure sehr detailliert zu modellieren, da man aus Erfahrung weiß, dass sie ein sehr komplexes Verhalten haben. Analoges gilt für Netzwerke, die ebenfalls eine reichhaltige Struktur – in bezug auf Vernetzungsgrad, Symmetrien, Existenz von sogenannten Gatekeepern oder Konzentratoren – besitzen. Ebenfalls klar ist, dass sehr reichhaltige Akteure und Netzwerke eine noch reichhaltigere Beschreibung ihrer Wechselwirkung erfordern, denn besitzt ein Akteur  $m$  Eigenschaften und ein Netzwerk  $n$ , so besitzt ihre Wechselwirkung  $m \cdot n$  verschiedene Eigenschaften. Schlimmer noch: In der konkreten Interaktion von  $k$  solcher Akteuren sind schlimmstenfalls  $(m \cdot n)^k$  verschiedene Kombinationen zu berücksichtigen, also exponentiell viele.

Auf dem zweiten Blick kann man jedoch feststellen, dass dieser Reichtum sich nicht notwendigerweise als Reichtum der Eigenschaften manifestieren muss. Er kann sich nämlich ebenso als Reichtum der Verhaltensweisen zeigen. Dies mag auf dem ersten Blick zunächst wie ein Spiel mit Worten erscheinen, es hat aber fundamentale Auswirkungen. Wir wollen versuchen, den Unterschied anhand einer Analogie zu illustrieren: Für jemanden, der noch nie Schach gespielt hat, und versucht, das Verhalten von Schachspielern zu ergründen, muss sich mit vielerlei Strategien auseinandersetzen: Eröffnung, Dominanz im Zentrum, Opfern von Figuren, Endspiel usw. – also all das, was jede Schachschule thematisiert. Die Zahl der Taktiken sowie die Varianten unterschiedlicher Stellungstypen ist enorm. Nichtsdestotrotz wäre es falsch, von dieser Komplexität der Spieldynamik auf die Komplexität der Spielstruktur zu schließen: Die Spielstruktur lässt sich nämlich mit sehr einfachen Regeln beschreiben: im wesentlichen den Zug- und den Schlagregeln, die sehr knapp darstellbar sind. Die Spielregeln bilden somit die Tiefenstruktur der Dynamik aller denkmöglichen Schachspiele.

In diesem Sinne geht es uns darum, die Tiefenstruktur von Akteuren und

Netzwerken zu ergründen. Indem wir beide *minimalistisch* modellieren, sind wir also gerade nicht simplifizierend, sondern versuchen im Gegenteil, einen Erklärungsmehrwert zu schaffen. Der Erklärungsmehrwert besteht insbesondere darin, dass wir die Komplexität nicht bereits in den Modellkonstrukten anlegen, sondern sie erst durch Interaktion entstehen lassen, getreu unserem Motto: Einfache Regeln, komplexe Dynamiken.

### 3.3 Modellierung der Spielregeln

Wir formalisieren nun die Spielregeln in Form eines mathematischen Modells.

Wir haben eine Menge von  $n$  Akteuren, die wir mit  $1, 2, \dots, n$  durchnummern. Im folgenden stehen die Variablen  $i, j, k, l, \dots$  für Akteure.

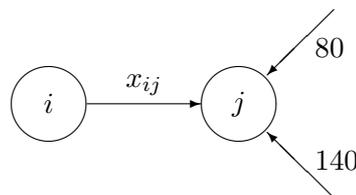
Wir nehmen an, dass der aktuelle Zustand des dynamischen Netzwerkes durch die aktuellen Kantengewichte  $w_{ij} \in \mathbb{N}$  kodiert wird. Das Kantengewicht  $w_{ij}$  beschreibt die Stärke der gerichteten Interaktionsverbindung von  $i$  nach  $j$ . Kantengewichte sind natürliche Zahlen.

Der aktuelle Zustand  $w$  entwickelt sich in den Folgezustand  $x$  (der Schritt vom Zeitpunkt  $t$  zum Zeitpunkt  $t + 1$ ), indem jeder Akteur  $i$  die Gewichte  $w_{i,1}, \dots, w_{i,n}$  modifiziert und so die neuen Werte  $x_i = x_{i,1}, \dots, x_{i,n}$  erzeugt. Gesucht sind nun neue Gewichtung  $x_{ij}$  in Folge einer bzgl. des Akteurs  $i$  lokalen Berechnung aus den aktuellen Gewichten  $w_{ij}$ .

Wir treffen dabei folgende Annahmen über die Akteure:

1. Akteure streben nach absoluter Dominanz. Der Akteur  $i$  dominiert  $j$ , wenn das Gewicht  $w_{ij}$  von  $i$  nach  $j$ , größer ist als die Summe aller anderen nach  $j$  führenden Gewichte, d.h.  $\sum_{k \neq i} w_{kj}$ . Der Akteur  $i$  versucht  $x_i$  so zu wählen, dass er  $j$  dominiert. Ein Akteur  $i$ , der  $j$  dominiert, kann dessen Handlungen beeinflussen.

Im folgenden Beispiel versucht der Akteur  $i$  demnach seine Interaktionsintensität  $x_{ij}$  größer als  $80 + 140 = 220$  zu wählen.



Für  $i$  ergibt sich Dominanz als die Maximierungsanforderung:

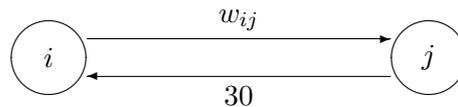
$$x_{ij} - \sum_{k \neq i} w_{kj} \stackrel{!}{=} \max \quad (1)$$

Mathematisch ist dies äquivalent zu:

$$- \left( x_{ij} - \sum_{k \neq i} w_{kj} \right) = \left( \sum_{k \neq i} w_{kj} - x_{ij} \right) \stackrel{!}{=} \min \quad (2)$$

2. Akteure streben außerdem nach bilateraler Dominanz. Der Akteur  $i$  dominiert  $j$  bilateral, wenn das Gewicht  $w_{ij}$  von  $i$  nach  $j$  größer ist als das von  $j$  nach  $i$ . Bilaterale Dominanz bedeutet für den Akteur die Möglichkeit, Einfluß auszuüben, ohne selbst beeinflusst zu werden.

Im folgenden Beispiel versucht der Akteur  $i$  demnach seine Interaktionsintensität  $x_{ij}$  größer als 30 zu wählen.



Bilaterale Dominanz drückt sich mathematisch in der folgenden Bedingung aus:

$$x_{ij} - w_{ji} \stackrel{!}{=} \max \quad (3)$$

Äquivalent:

$$-(x_{ij} - w_{ji}) = w_{ji} - x_{ij} \stackrel{!}{=} \min \quad (4)$$

3. Wir nehmen an, dass die Gesamtmenge der Gewichte, die ein Akteur verteilen kann, im wesentlichen mit der Aufmerksamkeit, die ihm seine Umwelt aktuell entgegenbringt, identisch ist:

$$\sum_k x_{ik} \stackrel{!}{=} \sum_k w_{ki}$$

Dies modelliert, dass die symbolische Ausstrahlung eines Akteurs sich aus der ihm zuteilwerden Aufmerksamkeit speist.

Diese Forderung wäre in dieser strengen Form aber zu einschränkend, denn sie erlaubt keine Anpassung der  $w_{ij}$ , wenn die Randwerte (d.h.  $\sum_k w_{ki}$  und  $\sum_k w_{ik}$ ) auseinanderfallen. Diese Korrektur modellieren wir, indem wir die Gewichte  $w_{ij}$  anpassen, wenn die Randwerte ungleich sind.

Das eingehende Interaktionsgewicht (der Spalten-Randwert) eines Akteur  $i$  ist hierbei:

$$in_i := \sum_k w_{ki}$$

Das ausgehende Interaktionsgewicht (Zeilen-Randwert) ist:

$$out_i := \sum_k w_{ik}$$

Gilt bspw.  $in_i > out_i$ , dann bekommt  $i$  mehr Aufmerksamkeit, als er selbst einsetzt. Im Modell werden seine Werte  $w_{i,*}$  daher proportional zur relativen Differenz angepasst. Die Anpassung vom aktuellen Wert  $w_{ij}$  zum

neuen Wert  $w'_{ij}$  berechnet sich anhand der Proportionalitätskonstanten  $\lambda_i \geq 0$  zu:

$$w'_{ij} = w_{ij} + \lambda_i \frac{in_i - out_i}{out_i}$$

Die Konstante  $\lambda_i$  ist ein Maß dafür, wie schnell sich Kapital bei den Akteure aufbauen kann. Speziell für  $\lambda_i = 0$  gilt damit  $w'_{ij} = w_{ij}$ , d.h. es tritt keine Anpassung auf. Keine Anpassung ist also ein Spezialfall des Modells.

Berücksichtigen wir zudem noch, dass  $w'_{ij}$  nie unter 0 sinken darf und eine ganze Zahl sein muss, so erhalten wir die folgende Definition ( $\lfloor x \rfloor$  stellt die nächstkleinere ganze Zahl dar):

$$w'_{ij} = \begin{cases} \lfloor w_{ij} + \lambda_i \frac{in_i - out_i}{out_i} \rfloor, & \text{falls } w_{ij} \geq \lambda_i \frac{in_i - out_i}{out_i} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases} \quad (5)$$

Dies können wir folgendermaßen äquivalent formulieren:

$$w'_{ij} = \max \left( 0, \lfloor w_{ij} + \lambda_i \frac{in_i - out_i}{out_i} \rfloor \right) \quad (6)$$

Die Formel berechnet analog eine Verminderung des Gewichtes, falls  $in_i, out_i$  gilt, d.h. falls  $i$  mehr Aufmerksamkeit aussendet, als er selbst bekommt.

Mit dieser Anpassung der Gewichte fordern wir nun den Bilanzerhalt beim Schritt von  $t$  zu  $t + 1$ , d.h. von  $w_{ij}$  zu  $x_{ij}$ :

$$\sum_k x_{ik} \stackrel{!}{=} \sum_k w'_{ki} \quad (7)$$

4. Weiterhin besitzt jeder Akteur  $i$  eine gewisse Trägheit, bei seinem aktuellen Wert  $w'_{ij}$  zu verharren. Das Verhalten wird sich also nicht hektisch ändern. Die Trägheit eines Akteurs wird durch einen Radius  $c_{ij}$  modelliert, der die Abweichung von  $x_{ij}$  in bezug auf  $w'_{ij}$  festlegt:

$$x_{ij} \in [w'_{ij} - c_{ij}, w'_{ij} + c_{ij}]$$

Äquivalent formuliert ist dies:

$$(x_{ij} - w'_{ij})^2 \leq c_{ij}^2 \quad (8)$$

Die Auswahl der Aufmerksamkeitsgewichtung  $x_{ij}$  ergibt sich somit also eine durch  $i$  und  $j$  indizierte Familie von Optimierungsproblemen:

$$A_{ij}(x) := -x_{ij} + \sum_{k \neq i} w_{kj} \stackrel{!}{=} \min \quad (9)$$

$$B_{ij}(x) := -x_{ijs} + w_{jis} \stackrel{!}{=} \min \quad (10)$$

Die Lösungen müssen dabei die folgenden Nebenbedingungen erfüllen:

$$\sum_k x_{ik} = \sum_k w'_{ki} \quad (11)$$

$$w'_{ij} = \max\left(0, \lfloor w_{ij} + \lambda_i \frac{in_i - out_i}{out_i} \rfloor\right) \quad (12)$$

$$(x_{ij} - w'_{ij})^2 \leq c_{ij} \quad (13)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad (14)$$

Für jeden Akteur  $i$  können wir die durch  $j$  indizierte Familie der Minimierungsprobleme (9) und (10) mit den Nebenbedingungen (11) bis (14) zusammenfassen, indem wir die  $A_{ij}(x)$  und  $B_{ij}(x)$  für jedes  $j$  mit Faktoren  $\alpha_{ij}, \beta_{ij} \in \mathbb{R}$  gewichten und summieren:

$$f_i(x) := \sum_j \alpha_{ij} A_{ij}(x) + \sum_j \beta_{ij} B_{ij}(x) \stackrel{!}{=} \min \quad (15)$$

Die Vorfaktoren  $\alpha_{ij}, \beta_{ij} \in \mathbb{R}$  sind hierbei so zu wählen, dass sie sämtlich positiv und reell und in der Summe auf 1 normiert sind:

$$\forall i : \sum_j \alpha_{ij} + \beta_{ij} = 1, \forall i, j : \alpha_{ij}, \beta_{ij} \geq 0$$

Handlungswahl von  $i$  ist also die Optimierung der durch (15) gegebenen Funktion  $f(x) := \sum_i f_i(x)$  unter Berücksichtigung der Bedingung (11) bis (14). Die Gesamtheit der Vorfaktoren  $(\alpha_{ij}, \beta_{ij})_j$  beschreibt die Handlungslogik des Akteurs  $i$  komplett.

Ein Spezialfall liegt vor, wenn jeder Akteur  $i$  die Gewichte unabhängig von seinem Gegenüber  $j$  wählt (*Partneruniformität*). In diesem Fall wird die Handlungslogik des Akteurs komplett durch das Tupel  $(\alpha_i, \beta_i)$  beschrieben:

$$f_i(x) := \alpha_i \sum_j A_{ij}(x) + \beta_i \sum_j B_{ij}(x) \quad (16)$$

### 3.4 Zusammenfassung

Unser minimalistisches Modell besteht aus den drei Grundkonzepten: Akteur, Netzwerk und ihrer Wechselwirkung. Zusammenfassend haben wir folgenden Modellelemente:

Grundkonzept	Modellelement
Akteur	Gewichtung $\alpha_{ij}, \beta_{ij}$ , Anpassung $\lambda_i$
Netzwerk	Kantengewichte $w_{ij}$
Wechselwirkung	$f_i(x) := \sum_j \alpha_{ij} A_{ij}(x) + \sum_j \beta_{ij} B_{ij}(x) \stackrel{!}{=} \min$

Man beachte, dass dieses Modell sehr minimalistisch ist, insofern als dass die Dynamik fast ausschließlich in den Netzwerkgewichten  $w_{ij}$  kodiert wird. Der Akteurszustand enthält als einzige dynamische Größe die durch  $\lambda_i$  gesteuerte

Anpassung der Aufmerksamkeitsbilanz der Randwerte  $in_i$  und  $out_i$ , während seine Präferenzgewichtung  $\alpha_{ij}, \beta_{ij}$  konstant bleibt.

Das System als ganzes ist somit lernfähig, der einzelne Akteur fast gar nicht. Der Grund für diese Einschränkung liegt darin, dass wir bereits mit dieser Vereinfachung interessante Effekte in der Simulation feststellen können.

## 4 Fallbeispiel: Finanzkooperation in Ostasien

Während der Vorschlag Japans, einen Asiatischen Währungsfonds (AWF) zu schaffen, im Jahre 1997 noch auf breite Ablehnung stieß, lässt sich für das Jahr 2009 eine hohe Bereitschaft der relevanten Akteure (i.e. USA, China, Association of Southeast Asian Nations (ASEAN), Internationaler Währungsfonds (IWF)) erkennen, mit der Multilateralisierung der sogenannten „Chiang Mai-Initiative“ die Vision Japans schon in Kürze Wirklichkeit werden zu lassen. Wie kann man diese überraschende Entwicklung erklären? Es soll im Folgenden gezeigt werden, dass sich dieser Wandel auf der Makroebene der Finanzkooperation durch die Simulation unseres dynamischen Netzwerkmodells internationaler Akteure (auf der Mikroebene) unter Berücksichtigung der unter 3.2 und 3.3 erwähnten Handlungsregeln und -logiken erklären lässt.

### 4.1 Setting

Im September 1997 schlug Japan als Reaktion auf die regionale Finanzkrise und ihre fatalen wirtschaftlichen und z.T. politischen Folgen die Schaffung eines Asiatischen Währungsfonds (AWF) vor. Dieser Plan wurde damals von den USA, dem Internationalen Währungsfonds (IWF), China und den meisten ASEAN-Staaten abgelehnt und von Japan deshalb wieder fallengelassen. Gleichwohl gab es einen Konsens unter den ASEAN+3-Staaten,<sup>2</sup> finanzielle Ressourcen bzw. Liquidität zu bündeln, um im Falle erneuter internationaler Spekulationen gegen die Währungen ost-asiatischer Staaten durch Stützungskäufe reagieren zu können. Insbesondere das Treffen der ASEAN+3-Staaten in Chiang Mai, Thailand, im Jahre 2000 war Ausdruck des Bestrebens nach finanzieller Absicherung gegen regionale Krisenerscheinungen. Deshalb standen neben der Diskussion von Maßnahmen zur Überwachung von kurzfristigen Kapitalströmen, von Reformen der internationalen bzw. globalen Finanzarchitektur und ihrem Zusammenspiel mit entsprechenden regionalen Institutionen insbesondere Fragen des Krisenmanagements im Falle von Finanz- und Währungskrisen im Mittelpunkt der Verhandlungen (Loewen 2006).

Die von der ASEAN+3 verfolgte Strategie zur Vermeidung und Abfederung von Finanzkrisen besteht darin, ein Netzwerk bilateraler Beistandsverpflichtungen zwischen den 13 ostasiatischen Zentralbanken aufzubauen, das so genannte „Currency-Swap-Abkommen“. Dies bedeutet, dass z.B. die malaysische Zentralbank sich im Falle einer drohenden Spekulation gegen den Ringgit, eine festgelegte Summe an US-Dollar leihen könnte, um Stützungskäufe zu Gunsten

---

<sup>2</sup>ASEAN+3 = ASEAN (Brunei, Indonesien, Kambodscha, Laos, Malaysia, Myanmar, Philippinen, Singapur, Thailand, Vietnam) + China, Japan und Südkorea

der eigenen Währung zu tätigen. Insgesamt stehen dem bilateralen Ressourcennetzwerk derzeit 90 Mrd. US\$ zur Verfügung. Die Vergabe von Krediten orientiert sich an IWF-Konditionalitäten, was bedeutet, dass nur auf 20% der verfügbaren Geldmittel ohne die Zustimmung des Internationalen Währungsfonds zugegriffen werden kann. Die restlichen Mittel sind an Konditionalitäten des IWF gebunden (ASEAN+3 2005). Bislang existieren 16 solcher Übereinkünfte zwischen China, Japan, Korea und den zehn ASEAN-Staaten. Neben den bilateralen Swap-Arrangements zwischen den ASEAN+3-Staaten gibt es noch weitere Abkommen zwischen den ASEAN-Staaten, die so genannten ASEAN-Swaps (Ministry of Finance, Japan).

Die Multilateralisierung der Chiang Mai-Initiative stand während der ASEAN+3 Treffen der letzten Jahre häufiger zur Diskussion, ohne jedoch zu konkreten Beschlüssen zu führen. Erst das Treffen der ASEAN+3-Finanzminister am 3. Mai 2009 auf Bali brachte eine für ostasiatische Verhältnisse revolutionäre Wende: den Beschluss über die Schaffung eines multilateralen Finanzregimes, kurz: CMIM (Chiang Mai Initiative Multilateralisation (CMIM)). Dieses Regime würde Mitgliedern mit vorübergehenden Zahlungsbilanzschwierigkeiten Wahrungskredite bereitstellen und die Wirtschafts- und Finanzpolitik durch eine entsprechende noch zu schaffende Institution überwachen. Damit würde die CMIM die Aufgaben des Internationalen Währungsfonds für die Länder der ASEAN+3 übernehmen. Obschon in der gemeinsamen Verlautbarung der Finanzminister darauf gewiesen wird, dass die zu schaffende Institution bereits existierende internationale Finanzarrangements ergänzen sollte, bleibt offen, wie dieses „institutional interplay“ genau aussehen wird.

Empirischer Ausgangspunkt für die unter Punkt 4.2 folgende Modellierung und Simulation sind die Interaktionsmuster zwischen den für die regionale Finanzkooperation relevanten Akteuren bzw. Agenten. Während im Jahre 1997 die USA, China, die ASEAN-Staaten und der Internationale Währungsfonds die Schaffung eines asiatischen Währungsfonds z.T. entschieden ablehnten, blieb Japan mit seiner Grundungsoffensive allein. Zu jenem Zeitpunkt konnten die USA insbesondere die außenpolitische Agenda Japans, Koreas und vieler ASEAN-Staaten entsprechend beeinflussen. Obleich Japans Einfluss auf die regionale Politikgestaltung im Jahre 1997 recht hoch war, konnte es in der Frage des AWF keine Erfolg erzielen. Ähnlich ging es dem IWF, der insbesondere aufgrund seiner Politik der Konditionalitäten in der Region keinen großen Einfluss geltend machen konnte.

Im Jahre 2009 stellt sich die Situation etwas anders dar: Zwar betrachten die USA und der IWF die Initiierung eines AMF (bzw. CMIM) noch immer mit Skepsis, lehnen ihn jedoch nicht mehr vornehmlich ab. Korea und China sind mit Japan nicht nur die größten Geldgeber (Korea: 19,2 Mrd. US\$, Japan: 38,4 US\$ und China: 38,4 US\$), sondern auch starke Befürworter multilateraler Finanzkooperation in Ostasien. Das gleiche gilt für die ASEAN-Staaten, die in ihrer plus drei Erweiterung eine gute Möglichkeit sehen, Ressourcen und Gestaltungsmöglichkeiten zu gewinnen. Zum Berichtszeitpunkt können die Vereinigten Staaten zwar noch Japan und einige ASEAN-Staaten dominieren, sie müssen jedoch gleichzeitig die neue regionale Führungsmacht China in ihr Kalkül mit einbeziehen, die sich wiederum in Konkurrenz mit Japan um die regionale Füh-

zung befindet. Der IWF wird aufgrund der Krisenerfahrung der Jahre 1997 und 1998 immer noch kritisch betrachtet, jedoch ist die Tatsache, dass der AMF bzw. das CMIM ähnlich wie der IWF aufgebaut sein wird, ein Hinweis auf den Einfluss der globalen Finanzinstitution. Insgesamt zeigt sich, dass alle regionalen Akteure die Multilateralisierung der Finanzkooperation befürworten.

## 4.2 Modellierung und Simulation

Wir wollen im folgenden unseren Ansatz anhand eines Fallbeispiels illustrieren: der Finanzkooperation in Ostasien. In der Simulation gehen wir von Partneruniformität aus, d.h. jeder Akteure wählt sein Verhalten unabhängig von seinem Interaktionspartner aus. Die Schwankungsbreite setzen wir mit  $c_{ij} = 1$  an, d.h. die Akteure verändern ihre Gewichtungen in jedem Schritt um maximal eine Einheit. Die beiden Anteile der Optimierung werden gleichgewichtet, d.h. jeder Akteur hat die Präferenzen  $\alpha = 0.5 = \beta = 0.5$ . Die Anpassungskonstanten beträgt konstant  $\lambda_i = 1.2$ , d.h. es findet eine moderate Anpassung von Ungleichgewichten statt.

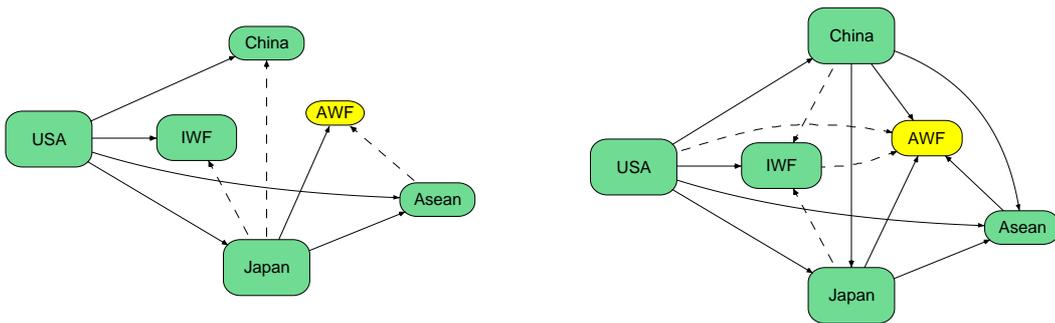


Abbildung 2: Die beiden Netzwerke: 1997 und 2009

Wir wollen das Szenario in grobe Züge quantitativ erfassen. Dazu versuchen wir, die Interaktionsaktivitäten in drei Kategorien zu erfassen: hoch, mittel, niedrig. Abbildung 2 skizziert die Einflussgewichte entsprechend der Darstellung des vorangegangenen Abschnitts. Hohe Interaktionsintensität sind als durchgezogene Linien dargestellt, mittlere als durchbrochene; niedrige Interaktionen sind gar nicht eingezeichnet. Ähnlich kategorisieren wir die Interaktionswerte, die jedem Akteur zur Verfügung stehen. In Abbildung 2 wird dies durch die unterschiedlichen Größen der Akteure angedeutet, wobei ein großflächiger Akteur mehr Interaktionen einsetzen kann, als ein kleinflächiger. So modellieren wir die USA und Japan für 1997 als sehr einflussreiche Akteure. Den Einfluß von China, der ASEAN Staaten und des IWF quantifizieren im mittleren Bereich, den des AWF im niedrigen. Im Jahre 2009 ändert sich dies insofern, als dass der Einfluß von China mit hoch bewertet wird. Gemäß der Darstellung im vorangegangenen Abschnitt verändert sich von 1997 zu 2009 insbesondere die Attitüde aller Akteure in bezug auf den AWF.

Für die Simulation übersetzt wird die Kategorien hoch, mittel, niedrig in eine Zahlenskala: Hohe Werte sind Werte um die 70-100, mittlere um die 30-70,

niedrige um die 0-30. Wir notieren die Interaktionsgewichte  $w_{ij}$  in Tabellenform. Für die leichtere Lesbarkeit haben wir zudem noch die Randwerte mit angegeben. Die Anfangszustände der beiden Varianten ergeben sich dann folgendermaßen.

- Anfangsgewichtung 1997:

1997, t=0	USA	China	Japan	Asean	IWF	AWF	$\Sigma$
USA	0	50	100	100	100	0	350
China	20	0	30	40	10	0	100
Japan	80	100	0	100	100	60	440
Asean	10	20	20	0	20	10	80
iWF	20	20	20	20	0	5	85
AWF	5	10	10	10	10	0	45
$\Sigma$	135	200	180	270	240	75	

- Anfangsgewichtung 2009:

2009, t=0	USA	China	Japan	Asean	IWF	AWF	$\Sigma$
USA	0	50	100	100	100	1	351
China	50	0	50	80	80	60	320
Japan	0	100	0	100	100	60	360
Asean	10	20	20	0	20	30	100
IWF	20	20	20	20	0	10	90
AWF	5	10	10	10	10	0	45
$\Sigma$	85	200	200	310	310	161	

Wir haben das Simulationsmodell mit einem Computerprogramm für die ersten 25 Zeiteinheiten berechnet. Wir erhalten die folgenden Zustände:

- Gewichtung 1997:

1997, t=25	USA	China	Japan	Asean	IWF	AWF	$\Sigma$
USA	0	62	87	87	62	0	298
China	56	11	41	51	7	0	166
Japan	78	73	0	73	73	8	305
Asean	55	40	40	20	40	5	200
IWF	59	34	34	28	14	0	169
AWF	25	5	1	0	0	0	31
$\Sigma$	273	225	203	259	196	13	

- Gewichtung 2009:

2009, t=25	USA	China	Japan	Asean	IWF	AWF	$\Sigma$
USA	0	52	77	77	53	0	259
China	70	0	45	75	75	30	295
Japan	15	89	0	89	89	24	306
Asean	57	42	42	22	42	27	232
IWF	65	40	40	40	20	5	210
AWF	41	21	21	17	0	11	111
$\Sigma$	248	244	225	320	279	97	

### 4.3 Auswertung

Ein Vergleich der beiden Simulationen zeigt folgendes: Man sieht, dass 1997 die Gewichtung in bezug auf den AWF zurückgeht: Die Randwerte sind 31 und 13 sind recht niedrig. Dagegen etabliert sich 2009 die Gewichtung, erkennbar an den hohen Werten 97 und 111. Bemerkenswert ist auch der wachsende Einfluss des AWF im Jahr 2009 (von 45 auf 111), verglichen mit dem Rückgang 1997 (von 45 auf 31).

Natürlich sind die konkreten Zahlenwerte dabei nicht bedeutsam. Meist haben wir die Werte in der Intervallmitte gewählt, also 100 für hohe, 50 oder 60 für mittlere und 10 oder 20 für niedrige Werte.

Im Rahmen dieser Kategorien können wir jedoch festhalten, dass unsere Simulationsergebnisse konsistent mit den Beobachtungsdaten sind.

### 4.4 Zusammenfassung

Das hier betrachtete Fallbeispiel hat für uns den Vorteil, dass es einen internen Referenzrahmen bietet, insofern, als dass wir zu zwei verschiedenen Zeitpunkten (hier: 1997 und 2009) vergleichbare Anfangszustände besitzen, die aber eine signifikant andere Dynamik entfalten. Dieser Unterschied im Verhalten muss sich somit aus den Unterschied der Anfangsbedingungen erklären lassen. Für uns heißt dies, dass wir zwei Modellinstanzen betrachten: eine für das Szenario im Jahre 1997, die zweite 2009.

Wir wollen unseren Ansatz in erster Näherung als gelungen bezeichnen, wenn die beiden Modellinstanzen ebenfalls die signifikant voneinander abweichenden Dynamiken nachzeichnen.

In methodischer Hinsicht hat dies folgenden Vorteil. Wäre unser Fallbeispiel auf ein Szenario beschränkt, so würden wir, wie in Abbildung 3 dargestellt, das Szenario  $s = s(t_1)$  zum Startzeitpunkt modellieren, d.h. mit Hilfe unseres Modells beschreiben. Als Ergebnis erhalten wir einen Modellzustand  $z = z(t_1)$ . Durch Simulation des Modells erhalten wir den Nachfolgezustand  $z' = z(t_2)$ . Dessen realweltliche Bedeutung müssten wir interpretieren. Eine Simulation wäre demnach gelungen, wenn  $z'$  als das Szenario zum Endzeitpunkt  $s' = s(t_2)$  interpretiert werden kann, bzw. – was äquivalent dazu ist – wenn die Modellierung von  $s'$  gerade dem Simulationsergebnis  $z'$  entspricht.

Die Güte eines Simulationsmodells wird also dadurch bestimmt, wie sehr Szenario und Modell korrespondieren. Die Güte eines Modells bedarf hier also einer *externen* Referenz auf die Realität. Dieser Ansatz hat in der Praxis aber den

Nachteil, dass die Ansicht, wie ein Szenario auf einen Zustand abgebildet werden sollte, sehr subjektiv sein kann, so dass die Entscheidung, ob das Simulationsergebnis  $z'$  als das Szenario zum Endzeitpunkt  $s'$  interpretiert werden kann, als Gegenstand von Kontroversen taugt.

Hat man dagegen zwei sehr ähnliche Szenarien  $s_1$  und  $s_2$ , kann man die Subjektivität zurückdrängen, indem man das Erfolgskriterium anders formuliert. Entscheidend ist nun, ob die beiden Simulationsmodelle  $z_1(t)$  und  $z_2(t)$  sich über die Zeit *relativ zueinander* so verhalten wie die Szenarien  $s_1(t)$  und  $s_2(t)$ . Natürlich ist auch hier subjektiv, wie die Zustände  $z_1(t)$  und  $z_2(t)$  modelliert werden sollten, aber typischerweise ist es einfacher, die beiden Modelle  $z_1(t)$  und  $z_2(t)$  *miteinander* zu vergleichen, als beide jeweils mit ihrem Szenario. Etwas verkürzt formuliert: Es kommt uns nicht so sehr um die Modelle  $z_1(t)$  und  $z_2(t)$  *an sich* an, sondern eher um ihren Abstand  $|z_2(t) - z_1(t)|$ . Diesen wollen wir mit dem Unterschied  $|s_2(t) - s_1(t)|$  in den Szenarien vergleichen. Dies hat den Vorteil, dass viele Streitpunkte sich auflösen, denn für unterschiedliche Ansätze mögen zwar  $z_1(t)$  und  $z_2(t)$  mehr oder weniger unterschiedlich ausfallen, während ihr Verhältnis  $|z_2(t) - z_1(t)|$  in allen Varianten dagegen gleich ist. Die Güte eines Modells bedarf in dieser Formulierung also in erster Linie einer *internen* Referenz, und erst in zweiter einer externen, auf die Realität bezogenen.

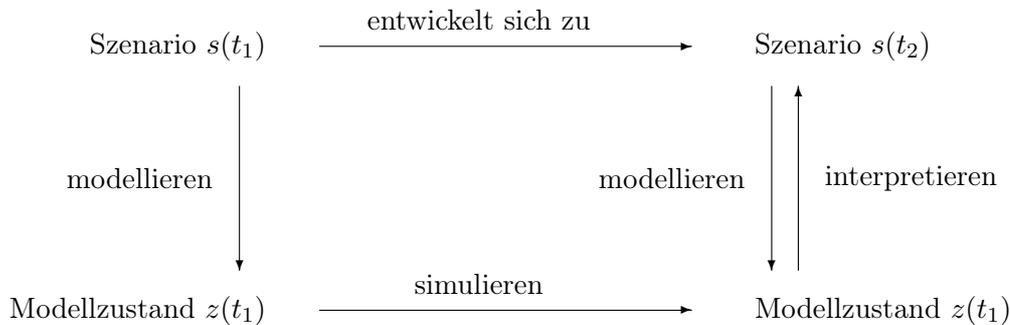


Abbildung 3: Modellierung

In diesem Sinne können wir unser Modellierungsexperiment als gelungen betrachten, da die beiden Simulationen ein Verhalten haben, dass in Übereinstimmung mit der Entwicklung im Szenario ist.

## 5 Ausblick

Politik, Gesellschaft und Ökonomie weisen wie die Natur nicht-lineare Eigenschaften und Prozesse auf, die auf Systemzustände wie Wandel, Ordnung und Unordnung verweisen. Die Komplexitätstheorie ist ein interdisziplinärer Forschungsansatz zur Modellierung kritischer Phasenübergänge zwischen den Systemzuständen komplexer dynamischer Systeme. Grundlegend ist die Prämisse, dass Phänomene auf der Makroebene eines komplexen Systems durch das Zusammenspiel seiner Elemente bzw. Akteure zu erklären sind. Die emergenten Eigenschaften des Systems lassen sich dabei nicht auf die Eigenschaften seiner Elemente zurückführen. Methodisch beruht die Komplexitätstheorie auf der agentenbasierten Modellierung. Entsprechende Modelle verlangen von dem jeweiligen Modellierer spezifische Aussagen über die Beschaffenheit der Akteure und den Regeln, die ihre Interaktion untereinander sowie mit ihrer Umwelt bestimmen. Wenn Handeln unter den Bedingungen von Komplexität stattfindet, so kann es nur eine beschränkte Rationalität geben. Die analytische Kluft zwischen der Welt des *homo oeconomicus* und der Welt des *homo sociologicus*, die bislang in den Internationalen Beziehungen und der Politikwissenschaft als unüberwindbar betrachtet wird, kann durch die ontologische Offenheit der Komplexitätstheorie und die somit mögliche analytische Integration materieller und ideeller Faktoren überwunden werden. Schließlich ermöglicht die Computersimulation die Interaktion der Agenten und verweist im besten Fall auf ein emergente soziale Dynamik hin, die der Dynamik des empirischen Makrophänomens gleicht.

Auf der Grundlage eines vom Institut für Informatik und vom GIGA German Institute of Global and Area Studies entwickelten Modells internationaler Akteure, die in ein Interaktionsnetzwerk eingebunden sind, wurde die Entwicklung der regionalen Finanzkooperation in Ostasien zwischen 1997 und 2009 modelliert und simuliert. Ausgangspunkt ist die Beobachtung, dass im Jahre 1997 der Vorschlag Japans, einen asiatischen Währungsfonds (AWF) zu gründen noch auf breite Ablehnung der relevanten Netzwerkakteure (USA, IWF, China, ASEAN) stieß. Im Jahre 2009 zeigt sich jedoch eine erstaunlich hohe Bereitschaft aller beteiligten Akteure, die Multilateralisierung der sogenannten „Chiang Mai-Initiative“ durchzusetzen, was der Schaffung eines AWF gleichkommt. Um diesen Prozess zu simulieren, wurden die Akteure zunächst als nicht-lernend sowie Dominanz über andere Staaten anstrebend konzipiert und programmiert. Gleichzeitig wurde das Akteursnetzwerk als Handlungsrahmen und -ergebnis modelliert: Struktur und Akteur konstituieren sich wechselseitig. Die Modellierung des Akteursnetzwerkes in den Jahren 1997 und 2009 verweist in einem ersten Schritt auf die Interaktionsintensität und ihre Übersetzung in eine Zahlenskala. Auf dieser Grundlage wurde in einem zweiten Schritt die Finanzkooperation in Bezug auf die Errichtung eines AWF simuliert. Die Simulation ist erfolgreich verlaufen, da beide Simulationen sich mit der Szenarioentwicklung decken. Unser dynamisches Netzwerkmodell internationaler Akteure hat somit seinen ersten Test bestanden und wird in einem nächsten Schritt durch die Lernfähigkeit seiner Akteure erweitert.

## Literatur

- Adler, Emanuel (2005): *Communitarian international relations*, Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Alberts, David/Czwerwinski, Thomas (Hrsg.) (1997): *Complexity, global politics and national security*, Washington: National Defence University.
- Arthur, Brian W. (1990): „Positive Feedbacks in the Economy“, in: *Scientific American* 262, S. 92-99.
- ASEAN+3 (2005): *Joint Ministerial Statement of the 8<sup>th</sup> ASEAN+3 Finance Minister's Meeting*, Istanbul, 4.Mai [www.asean.org].
- Axelrod, Robert (1995): „A Model of the Emergence of New Political Actors“, in: Gilbert, Nigel/Conte, Rosaria (Hrsg.), *Artificial Societies: The Computer Simulation of Social Life*, London: University College Press, S. 19-39.
- Axelrod, Robert (1997): *The complexity of cooperation*, Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Barry, Andrew/Walters, William (2003): „From EURATOM to ‘complex systems’“, in: *Alternatives*, 28:2, S. 305-329.
- Beaumont, Roger (1994): *War, chaos and history*, Westport, Connecticut: Praeger.
- Booth, Ken (Hrsg.) (2005): *Critical Security Studies and World Politics*, Boulder, Colorado: Lynne Rienner.
- Bueno de Mesquita, Bruce (1998): „The End of the cold war“, in: *Journal of Conflict Resolution*, 42:2, S. 131-155.
- Byrne, David (1998): *Complexity theory and the social sciences*, London: Routledge.
- Cederman, Lars-Erik (1997): *Emergent Actors in world politics*, Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Chesters, Graeme (2004): „Global complexity and global civil society“
- Cilliers, Paul (1998): *Complexity and Postmodernism*, London: Routledge.
- Cowan, George A/Pines, David/Meltzer, David (1994): *Complexity. Metaphors, Models, and Reality*, Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity, Proceedings Vol. 19, Redwood City: Addison-Wesley.
- Davis, Lynn (2004): *Education and conflict: complexity and chaos*, London: Routledge.
- Deffuant, Guillaume (2006): „Comparing extremism propagation patterns in continuous opinion models“, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 9 (1). [<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/9/3/8.html>]
- De Landa, Manuel (1997): *A thousand years of nonlinear history*, New York: Swerve.
- Dillon, Michael/Wright, Chris (Hrsg.) (2006): *Complexity, Networks and Resilience*, London: Chatham House.
- Dunn, Myriam A. (2007): „Securing the digital age: the challenges of complexity for critical infrastructure protection and international relations theory“ in: Johan Eriksson/Giampiero Giacomello (Hrsg.), *International relations and security in the digital age*, London: Chatham House).
- Elhefnawy, Nader (2004): „Societal Complexity and diminishing returns in security“, in: *International Security*, 29:1, S. 152-174.
- Epstein, Joshua M. (2006): *Agent-Based Computational Models and Generative Social Science*, Princeton and Oxford: Princeton University Press.

- Farrell, Katharine (2004): "Epistemology, Complexity and Democracy", in: *Local Environment*, 9:5, S. 469-479.
- Feder, Stanley (2002): "Forecasting for policy-making", in: *Annual Review of Political Science*, 5, S. 111-125.
- Geyer, Robert (2003a): "Beyond the third way", *British Journal of Politics and International Relations*, S. 237-257.
- Geyer, Robert (2003b): "European Integration, the problem of complexity and the revision of theory", *The Journal of Common Market Studies*, 41:1, S. 15-35.
- Geyer, Robert/Mackintosh, Andrew/Lehmann, Kai (2005): *Integrating UK And European Social Policy. The Complexity of Europeanisation*, Oxford: Radcliffe Publishing.
- Gilbert, Nigel (2008): *Agent-Based Models, Quantitative Applications in the Social Sciences*; 153, London: Sage Publications.
- Grande, Edgar/Pauly, Louis W. (Hrsg.) (2005): *Complex sovereignty: reconstituting political authority in the twenty-first century*, Toronto: University of Toronto Press.
- Harrison, Neil (Hrsg.) (2006a): *Complexity in world politics*, New York: SUNY Press.
- Harrison, Neil (2006b): "Thinking about the world we make", in: Neil Harrison (Hrsg.): *Complexity in world politics*, New York: SUNY Press, S. 1-23.
- Hoffman, Matthew/Riley, John (2002): "The science of political science", in: *New Political Science*, 24:4, S. 303-320.
- Holland, John H. (1975): *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, Ann Arbor: University of Michigan Press.
- Holland, John H. (1995): "Can There Be A Unified Theory of Complex Adaptive Systems?", in: Harold J. Morowitz, Jerome L. Singer, editors. *The Mind, The Brain, and Complex Adaptive Systems*, Redwood City: Addison-Wesley.
- Jervis, Robert (1997): *System effects*, New Jersey: Princeton University Press.
- Kavalski, Emilian (2007): "The fifth debate and the emergence of complex international relations theory: notes on the application of complexity theory to the study of international life", in: *Cambridge Review of International Affairs*, 20:3, S. 435-454.
- Kiel, Douglas (1992): "The non-linear paradigm", in: *Systems Research*, 9:2, S. 27-42.
- Little, Richard (1996): "The Growing Relevance of Pluralism", in: Smith, S./Booth, K./Zalewski, M. (Hrsg.): *International Theory: Positivism and Beyond*, Cambridge, S. 66-86.
- Loewen, Howard (2006): "Bilateralismus in der Handels- und Währungs Kooperation Ostasiens", in: *Südostasien aktuell/ Journal of Current Southeast Asian Affairs*, 3, S. 39-49.
- Lorenz, Edward N. (1963): "Deterministic Nonperiodic Flow", in: *Journal of the Atmospheric Sciences*, 20 (2), S. 130-141.
- Lüde, R. v. ; Moldt, D. ; R. Valk, M. Köhler ; Langer, R. (2003); Rölke, H. ; Spresny, D.: *Sozionik: Modellierung soziologischer Theorie*. Münster : Lit-Verlag (Wirtschaft – Arbeit – Technik).
- Lüde, Rolf v. (Hrsg.) ; Moldt, Daniel (Hrsg.) ; Valk, Rüdiger (Hrsg.) (2009): Bd. 5: *Selbstorganisation und Governance in künstlichen und sozialen Systemen*. Münster : Lit Verlag (Wirtschaft – Arbeit – Technik).
- Mainzer, Klaus (2008): *Komplexität*, Paderborn: Wilhelm Fink Verlag.
- Miller, John H./Page, Scott E. (2007): *Complex Adaptive Systems. An Introduction to Computational Models of Social Life*, Princeton: Princeton University Press.

- Nye, Joseph (2003): *Understanding international conflict*, New York: Harper Collins).
- Parfitt, Trevor (2006): "Hylomorphism, Complexity and Development", in: *Third World Quarterly*, 27:3, S. 421-441.
- Patomäki, Heikki/Wight, C. (2000): "After Post-Positivism? The Promises of Critical Realism", in: *International Studies Quarterly*, 44:2, S. 213-237.
- Phil-Rhee, Yong (Hrsg.) (1996): *Complex systems model of South-North Korean Integration*, Seoul: National University Press.
- Phil-Rhee, Yong (1999): *The dynamics and complexity of political systems*, Seoul: Ingansarang Press.
- Richards, Diana (Hrsg.) (2000): *Political Complexity*, Ann Arbor: University of Michigan Press.
- Rihani, Samir (2002): *Complex systems theory and development practice*, London: Zed Books.
- Rosenau, James N. (1990): *Turbulence in World Politics*, Princeton, New Jersey : Princeton University Press.
- Rosenau, James N. (2000) : *The Study of World Politics, Vol. 1, Theoretical and methodological challenges*, London and New York: Routledge.
- Schelling, Thomas C. (1971): "Dynamic Models of Segregation", in: *Journal of Mathematical Sociology* 1, S. 143 – 186.
- Simon, Herbert A. (1955): "A behavioral model of rational choice", in: *The Quarterly Journal of Economics*, 69: 1, S. 99-118.
- Smith, Steve (2007): "Introduction. Diversity and Disciplinarity in International Relations Theory", in: Smith, Steve et al. (ed.), *International Relations Theory. Discipline and Diversity*, Oxford: Oxford University Press, S. 1-12.
- Schiedler, Siegfried/Spindler, Manuela (Hrsg.): *Theorien der Internationalen Beziehungen*, Opladen: Leske+Budrich.
- Urry, John (2004): *Global Complexity*, Oxford: Polity Press.
- Walby, Sylvia (2007): *Globalization and Complex Inequalities*, London: Sage.
- Waldrop, M. Mitchell (1992): *Complexity. The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos*, New York: Simon and Schuster.
- Wallace, Michael/Suedfeld, Peter (1988): "Leadership performance in crisis: the longevity – complexity link", in: *International Studies Quarterly*, 32:4, S. 439-451.
- Wendt, Alexander (1999): *Social Theory of International Politics*, Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Whitman, Jim (2005): *The Limits of Global Governance*, London: Routledge.