

Die Krise der wissenschaftlichen Routine

Computersimulationen zu Kuhns »Structure of Scientific Revolutions«

Georg P. Mueller

Beitrag zur Veranstaltung »Evolution und Zusammenbruch sozialer Ordnung« der Sektion Modellbildung und Simulation – organisiert von Andreas Diekmann, Monika Jungbauer-Gans und Ben Jann

Dieser Beitrag ist ein Versuch, zentrale Gedanken von Thomas Kuhn aus seinem 1962 erstmals erschienenen Buch *The Structure of Scientific Revolutions* einer mathematischen Formalisierung zu zuführen. Kuhn beschreibt in diesem Buch den Lebenszyklus von sogenannten Paradigmen, welcher in der Regel mit einem neuen wissenschaftlichen Programm beginnt, das aus Theorien, Erkenntnis leitenden Fragen, einem Katalog von wissenschaftlichen Problemen (»Rätseln«) sowie Methoden zu deren Lösung besteht. In einer revolutionären Anfangsphase vermögen solche Paradigmen eine rasch wachsende Zahl von Wissenschaftler/-innen zu überzeugen und werden so zum neuen »main stream« einer »scientific community«. Auf diese Anfangsphase folgt nach Kuhn (1962: Kap. 4) die Etappe der »normal science«, in welcher die »scientific community« mit den etablierten Methoden des neuen Paradigmas routineartig dessen wissenschaftliche Rätsel zu lösen versucht. Schließlich endet nach Kuhn (1962: Kap. 6) das neue Paradigma in einer Krise: Alle einfachen wissenschaftlichen Rätsel sind gelöst und die verbleibenden Fragen lassen sich mit den alten wissenschaftlichen Routineprozeduren nicht wirklich beantworten. Damit ist die »scientific community« bereit, sich im Rahmen einer wissenschaftlichen Revolution einem neuen Paradigma zu zuwenden und so den Lebenszyklus des beschriebenen alten Paradigmas abzuschließen.

Obschon das Buch von Kuhn sehr berühmt ist, sind zwei wesentliche Konstruktionsmängel unübersehbar: Zum einen nimmt das Buch vor allem auf historische Revolutionen Bezug und ignoriert so weitgehend die zentralen Institutionen des gegenwärtigen Wissenschaftsbetriebs wie etwa das *Peer Reviewing* von Publikationen oder das *Publish-or-Perish*-Prinzip bei der Vergabe von akademischen Positionen. Zum andern geht Kuhn von einer monoparadigmatischen Wissenschaftskonzeption aus, in welcher für die Koexistenz von mehreren Paradigmen kein Raum ist. Diese Konzeption mag für die von Kuhn analysierten Naturwissenschaften durchaus ihre Berechtigung haben, sie greift aber für die Geistes- und Sozialwissenschaften mit oft mehreren koexistierenden Schulen und Paradigmen zu kurz (Tracy et al. 2004).

Um diese zwei Probleme des Kuhnschen Wissenschaftsmodells wenigstens ansatzweise lösen zu können, präsentieren wir im Folgenden ein Simulationsmodell auf der Grundlage der evolutionären Spieltheorie. Anders als das Buch von Kuhn berücksichtigt dieses Modell das institutionelle Setting des modernen Wissenschaftsbetriebs (Edmonds et al. 2011) und erlaubt es zudem, sowohl die Entwicklung von mono- als auch von polyparadigmatischen Wissenschaften zu simulieren.

Das Modell, das wir in dieser Arbeit vorstellen werden, unterscheidet sich deutlich von den schon etwas älteren Simulationsstudien von Sterman (1985) sowie Sterman und Wittenberg (1999), die ebenfalls auf Kuhns *Structure of Scientific Revolutions* basieren. Während die letzten einen Systems-Dynamics Ansatz verfolgen (Gilbert, Troitzsch 2011: Kap. 3), beruht die vorliegende Arbeit auf der evolutionären Spieltheorie (Maynard Smith 1993), die wir für die Beschreibung des Wettbewerbs zwischen verschiedenen Paradigmen als besonders geeignet halten. Dieser Ansatz erlaubt es, die multiparadigmatische Koexistenz verschiedener Schulen zu erklären, während das Modell von Sterman und Wittenberg (1999: 329, Abbildung 7a) nur die von Kuhn (1962) postulierte sequentielle Abfolge von paradigmatischen Monopolen zu erklären scheint.

Ein spieltheoretisches Modell der Paradigmenkonkurrenz

Die evolutionäre Spieltheorie (Maynard Smith 1993; Weibull 1996; Webb 2007: Kap. 8) ist ursprünglich für die theoretische Biologie und deren Interesse an der Dynamik von Teilpopulationen entwickelt worden. Ihr mathematisches Kernstück ist eine 2x2 Matrix, welche die vier möglichen Auszahlungen (Payoffs) aus dem zufälligen Zusammentreffen zweier Spezies beschreibt. Je höher die gewichtete Summe der Auszahlungen für die eine Spezies ist, desto höher ist deren relative Fitness und deren Bevölkerungswachstum im Vergleich zur anderen.

Diese ursprünglich eher biologisch orientierten Konzepte sind mit Erfolg auch für die Analyse dynamischer sozialer Prozesse verwendet worden (Axelrod 1990; Mueller 2009; Mueller 2012; Hanauske 2012). Da es bei Kuhns Modell der wissenschaftlichen Revolutionen letztlich um die Dynamik von Paradigmenkonkurrenz geht, versuchen wir in dieser Arbeit die Theorie von Kuhn mit den Mitteln der evolutionären Spieltheorie zu formalisieren. Die beiden interagierenden Spezies sind hierbei offensichtlich die Anhänger/-innen des alten und des neuen Paradigmas, die wir hier durch die Parameter:

$$S_n = \text{Anteil (share) der Anhänger/-innen des neuen Paradigmas} \quad (1a)$$

$$S_o = 1 - S_n = \text{Anteil der Anhänger/-innen des alten (old) Paradigmas} \quad (1b)$$

beschreiben.¹ Die Arenen, in denen diese beiden *Spezies* als Antragsteller/-innen und als Entscheidungsträger/-innen aufeinandertreffen, sind die Herausgeberkollegien (Editorial Boards) von wissenschaftlichen Zeitschriften, universitäre Berufungskommissionen sowie Entscheidungsgremien von wissenschaftlichen Förderinstitutionen. Die Interaktionen zwischen den beiden *Spezies* sind aufgrund der Unverträglichkeit der von ihnen vertretenen Paradigmen wohl eher feindlich, zumindest wenn man die Beziehungen innerhalb einer paradigmatischen Gruppe zum

¹ Siehe Glossar der mathematischen Symbole am Ende des Artikels.

Maßstab nimmt. Die daraus resultierende unterschiedliche Behandlung von intra- und extra-paradigmatischen Förderanliegen hat offensichtlich Konsequenzen für die wissenschaftliche Karriere und das *akademische Überleben* der Antragsteller/-innen, die wir im Folgenden am Beispiel des *Peer Reviewings* von Manuskripten für wissenschaftliche Zeitschriften untersuchen werden.

Tab: 1: Die Akzeptanzraten des alten und des neuen Paradigmas²

Reviewer-Paradigma:	Anteil:	Autoren-Paradigma:	
		Altes Paradigma	Neues Paradigma
Altes Paradigma	S_o	A_i	A_e
Neues Paradigma	S_n	A_e	A_i
Gesamte Akzeptanzrate des Paradigmas		$A_o = S_o * A_i + S_n * A_e$	$A_n = S_o * A_e + S_n * A_i$

Legende: A_i = Akzeptanzrate der intra-paradigmatischen Artikel; A_e = Akzeptanzrate der extra-paradigmatischen Artikel; A_o = Akzeptanzrate des alten Paradigmas; A_n = Akzeptanzrate des neuen Paradigmas.

Nimmt man an, dass die Zusammensetzung der Paradigmenorientierung der Mitglieder eines *Editorial Board* proportional zu den allgemeinen Populationsanteilen S_o und S_n des alten und des neuen Paradigmas ist, so kann man daraus die *totale Akzeptanzrate* A_o des *alten* und den entsprechenden Wert A_n des *neuen Paradigmas* berechnen. Gemäß Tabelle 1 entsprechen diese Werte den gewichteten Summen aus den *Akzeptanzraten* A_i der *intra-paradigmatischen* und A_e der *extra-paradigmatischen* Arbeiten:

$$A_n = S_o * A_e + S_n * A_i \quad (2a)$$

$$A_o = S_o * A_i + S_n * A_e \quad (2b)$$

Wir postulieren somit, dass das Ergebnis des Reviewing-Prozesses bezüglich der Akzeptanz eines Manuskripts unter anderem durch die Zufälligkeit der Zuordnung von Manuskript und Reviewer/-innen beeinflusst ist (siehe Bornmann, Daniel 2009). Falls wir zusätzlich noch von einer Diskriminierung extra-paradigmatischer Arbeiten ausgehen (Daniel 1993: 71, Shatz 2004: Kap. 3), so dass

$$A_e < A_i \quad (3)$$

so ergibt sich aus den Gleichungen (2a) und (2b) für neue Paradigmen im Vergleich zu A_o eine anfänglich eher tiefe Akzeptanzrate A_n : Zu Beginn sind ja jeweils $S_n \approx 0$ und $S_o \approx 1$.

² Zur Vereinfachung werden in dieser Tabelle nur männliche Formulierungen verwendet, ohne dass dadurch die wissenschaftlichen Leistungen von Frauen verkannt werden sollen.

Allerdings haben neue Paradigmen gegenüber alten anfänglich den Vorteil, dass sie noch unverbraucht sind und ambitionierten Forschern/-innen viele einfach zu lösende wissenschaftliche Rätsel anbieten. In dieser Phase ist daher die *Einfachheit von Entdeckungen mit dem neuen Paradigma* E_n deutlich besser als der zeitgleiche entsprechende Wert E_o des alten Paradigmas. Letzteres ist am Ende seines Lebenszyklus angelangt und steht nach Kuhn (1962, Kap. 7) bei der Lösung der verbleibenden wissenschaftlichen Rätsel oft vor unüberwindbaren Schwierigkeiten. Das hat Konsequenzen für die wissenschaftliche Produktivität F_o der Anhänger/-innen des alten Paradigmas, resp. der Produktivität F_n der Anhänger/-innen des neuen, weil die Einfachheit von Entdeckungen E_o und E_n die ursprünglichen Akzeptanzraten A_o und A_n (siehe Tabelle 1) auf folgende Weise modifiziert:

$$F_n = E_n * A_n = E_n * (S_o * A_e + S_n * A_i) \quad (4a)$$

$$F_o = E_o * A_o = E_o * (S_o * A_i + S_n * A_e) \quad (4b)$$

Da die vorerwähnte Produktivität in Form von akzeptierten wissenschaftlichen Arbeiten die Karrieren und akademischen Überlebenschancen der Anhänger/-innen der beiden Paradigmen beeinflussen, haben wir diese in den Formeln (4a) und (4b) mit den Symbolen F_o und F_n bezeichnet, welche für die *Fitness* der Anhänger/-innen des alten, resp. des neuen Paradigmas stehen. In Übereinstimmung mit generellen Annahmen der evolutionären Spieltheorie (Weibull 1996: Kap. 3) postulieren wir daher, dass das *Wachstum* ΔS_n der Anhänger/-innen des *neuen* Paradigmas auf folgende Weise von F_n und F_o abhängt:

$$\Delta S_n = \delta * (F_n - F_o), \text{ falls } 0 < S_n < 1, \text{ sonst } \Delta S_n = 0, \text{ wobei } \delta = \text{konstanter Zeitschritt.} \quad (5a)$$

Analog postulieren wir, dass für das *Wachstum* ΔS_o der Anhängerschaft des *alten* Paradigmas folgendes gilt:

$$\Delta S_o = \delta * (F_o - F_n), \text{ falls } 0 < S_o < 1, \text{ sonst } \Delta S_o = 0. \quad (5b)$$

Beide Gleichungen (5a) und (5b) sind so konzeptualisiert, dass die Populationsanteile S_o und S_n das Definitionsintervall $[0,1]$ nicht verlassen können und summiert immer 1 ergeben.³ Die durch diese Gleichungen beschriebenen Populationsveränderungen sind zum einen das Resultat von Paradigmenwechseln von etablierten Wissenschaftler/-innen und zum andern das Ergebnis eines rationalen Entscheidungskalküls des wissenschaftlichen Nachwuchses, der seine eigenen Karrierechancen durch die Wahl des jeweils besten Paradigmas zu optimieren trachtet.

Der komparative Vorteil, dass neue Paradigmen Karriere orientierten Akademiker/-innen viele einfach zu lösende wissenschaftliche Rätsel anbieten, verschwindet im Verlaufe der Zeit, weil nach der Lösung der einfacheren Rätsel immer mehr schwierige wissenschaftliche Probleme zurückbleiben. Dementsprechend sinkt mit der Zeit die Einfachheit E_n von Entdeckungen mit dem neuen Paradigma. Diese Erosion schreitet umso schneller voran, je grösser die Population S_n der wissenschaftlichen Rätsellöser/-innen und deren intellektuelle Produktivität F_n ist.

³ Aus (5a) und (5b) folgt $\Delta S_n = -\Delta S_o$, so dass die Summe $S_n + S_o$ zeitinvariant und immer gleich 1 ist (siehe Formel (1b)).

Wir postulieren daher:

$$\Delta E_n = -\delta * F_n * S_n, \text{ wobei der Anfangswert } E_n = 1 \text{ und } \delta = \text{konstanter Zeitschritt.} \quad (6a)$$

Analoge Überlegungen gelten auch für das alte Paradigma, so dass

$$\Delta E_o = -\delta * F_o * S_o, \text{ wobei der Anfangswert } E_o < 1. \quad (6b)$$

Somit sind nach einer gewissen Zeit beide Paradigmen veraltet und werden unter Umständen durch ein drittes, neues Paradigma ersetzt. Dieser Prozess ist allerdings nicht Gegenstand des vorliegenden Artikels.

Modell-Simulationen

Einleitung

In diesem Abschnitt verfolgen wir zwei miteinander verbundene Ziele: Als erstes versuchen wir für die Anhänger/-innen der beiden Paradigmen einen *Gesamtüberblick* über die verschiedenen *Populationsdynamiken* zu gewinnen, welche sich durch Variation der Input-Parameter des Modells erzeugen lassen. Von besonderem Interesse ist dabei einerseits die von Kuhn (1962) postulierte Abfolge von sich ausschließenden Paradigmen mit Monopolcharakter und andererseits die in Realität oft anzutreffende Koexistenz von mehreren Paradigmen. Unmittelbar damit verbunden, verfolgen wir als zweites Ziel die Analyse der *Determinanten* der vorerwähnten Populationsdynamiken. Da das Modell nur wenige Input-Parameter aufweist, können wir uns dabei auf zwei Determinanten konzentrieren: Die Akzeptanzrate für extra-paradigmatische Arbeiten A_e und die initiale Einfachheit von Entdeckungen mit dem alten Paradigma E_o . Zwecks Standardisierung setzen wir die Initialwerte der analogen Parameter $E_n = 1$ und $A_i = 1$, so dass sich die untersuchten E_o und A_e als Bruchteile von E_n und A_i darstellen lassen.

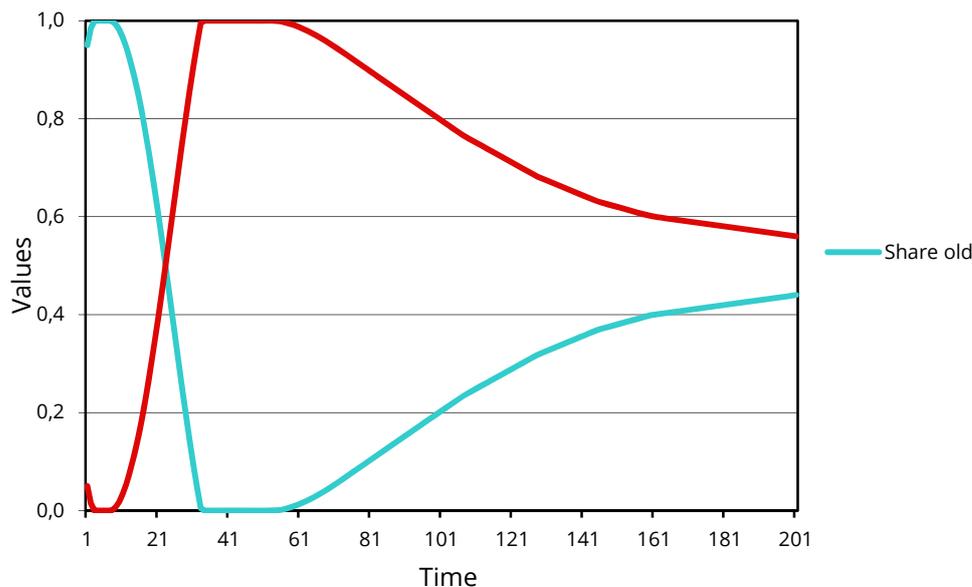
Wegen der relativen Komplexität unseres Modells haben wir versucht, die vorgenannten Ziele mittels *Computersimulation* zu erreichen. Zu diesem Zweck haben wir ein Excel-Programm geschrieben, dessen Kolonnen die einzelnen Modell-Variablen wie zum Beispiel S_o und S_n repräsentieren und dessen Zeilen den jeweils um $\delta = 0.1$ Einheiten verschobenen, aufeinanderfolgenden Zeitpunkten der Differenzgleichungen des Modells entsprechen. Die einzelnen Zeilen sind dabei so miteinander verbunden, dass sich die in den Gleichungen (5a, 5b) und (6a, 6b) beschriebenen Veränderungen einzelner Variablen durch das gesamte Excel-Spreadsheet fortpflanzen. Diese Veränderungen werden dadurch ausgelöst, dass zwischen den Zeitpunkten $t = 1$ (Spreadsheet-Zeile 1) und $t = 1 + \delta$ (Spreadsheet-Zeile 2) ein neues Paradigma auftaucht, welches das initiale Monopol des alten Paradigmas aufweicht und so den Anteil der Anhänger/-innen dieses Paradigmas von $S_o = 1.0$ auf $S_o = 0.95$ senkt. Auf diese Weise lässt sich die Populationsdynamik der Anhänger/-innen des alten und neuen Paradigmas unter variierenden Annahmen bezüglich E_o und A_e studieren.

Eine Typologie der simulierten Populationsdynamiken

Anhand der vorerwähnten Simulationen lassen sich insgesamt vier Typen von wissenschaftlichen Revolutionen unterscheiden:

- Die klassische, *vollständige Revolution*, die von Kuhn (1962) beschrieben worden ist. Sie zeichnet sich dadurch aus, dass ein neues Paradigma ein altes, ursprünglich monopolistisch dominierendes, vollständig und unwiderruflich verdrängt. Bei zufälliger Wahl der Modellparameter E_o und A_e tritt diese Art der Populationsdynamik in unseren Modellsimulationen allerdings eher selten auf.
- Die *unvollständige Revolution*. Charakteristisch für diesen Revolutionstyp ist, dass das neue Paradigma das alte nicht wirklich zu verdrängen vermag, so dass schlussendlich eine multiparadigmatische Situation mit zwei koexistierenden Paradigmen entsteht. Solch unvollständige Revolutionen sind in unseren Simulationen bei zufälligem Parameterinput weit häufiger als die vorerwähnten vollständigen Revolutionen von Kuhn.
- Die *verzögerte Revolution*. Typischerweise gibt es bei diesem Revolutionstyp zunächst ein neues Paradigma, welches ein *Untergrunddasein* fristet und nur wenige Anhänger/-innen hat, weil das alte Paradigma noch nicht wirklich abgenutzt ist und damit seine Monopolstellung zu behaupten vermag. Nach einer gewissen Latenzzeit beginnt sich das neue Paradigma auf Kosten des alten aber rasch auszubreiten. Das Endresultat dieses Wachstums kann eine unvollständige Revolution mit zwei koexistierenden Paradigmen sein. Ebenso lässt sich als Simulationsergebnis aber auch eine vollständige Revolution beobachten, die eine neue monopolparadigmatische Situation zur Folge hat.

Abb. 1: Beispiel einer verzögerten unvollständigen Revolution.⁴



⁴ Initiale Parameterwerte von Abbildung 1: $E_o = 0.9$, $A_e = 0.5$.

- d) Die *verhinderte Revolution*: In diesem Fall erweist sich das Festhalten am alten Paradigma als evolutionär stabile Strategie (Weibull 1996: Kap. 2.1), welche die *Invasion* der wissenschaftlichen Disziplin durch Vertreter/-innen des neuen Paradigmas auf Dauer abzuwehren vermag. Diese kehren entweder zum alten Paradigma zurück oder verlassen mangels akademischer Karrierechancen die Scientific Community auf Dauer.

Die vorerwähnten Revolutionstypen lassen sich zum Teil mischen, so dass zum Beispiel eine verzögerte vollständige oder eine verzögerte unvollständige Revolution simulierbar sind. Abb. 1 illustriert den letztgenannten Typ einer verzögerten unvollständigen Revolution.

Determinanten der Stabilität und Langzeit-Dominanz der beiden Paradigmen

Die im letzten Unterkapitel beschriebenen Revolutionen und Paradigmenwechsel unterscheiden sich im Wesentlichen auf zwei Dimensionen:

- 1) Bezüglich der längerfristigen *Stabilität des alten Paradigmas*, falls ein neues auftaucht, das zunächst von 5% aller Wissenschaftler/-innen übernommen wird. Dabei sind für das alte Paradigma drei Typen von Stabilität zu unterscheiden: *Permanente Stabilität*, *zeitweilige Stabilität*, oder *sofortige Instabilität*. Der erste Fall ist das Ergebnis einer verhinderten Revolution, der zweite einer verzögerten Revolution und der letzte einer klassischen oder unvollständigen Revolution.
- 2) Bezüglich des *Paradigmas*, das schlussendlich *dominiert*, falls das ursprüngliche Gleichgewicht durch das Auftreten eines neuen Paradigmas auf die unter (1) beschriebene Weise gestört worden ist. Zu unterscheiden sind wiederum drei Situationen: Das *alte Paradigma* behält langfristig seine Monopolstellung, das *neue* setzt sich vollumfänglich durch, oder es etabliert sich eine *multiparadigmatische Situation*, in der sowohl das alte auch das neue Paradigma gewichtige Teile der Scientific Community hinter sich haben.

Wie schon früher erwähnt, hängt die Klassifikation der simulierten Ergebnisse auf diesen zwei Dimensionen von der Einfachheit E_o von Entdeckungen mit dem alten Paradigma sowie der Akzeptanz A_e der jeweils externen, *fremden* Paradigmen ab. Um eine gute Übersicht über die Effekte dieser beiden Input-Variablen zu erhalten, haben wir das Modell für systematisch variierte Werte $E_o = 0., 0.2, 0.4, \dots, 1$ und $A_e = 0., 0.2, 0.4, \dots, 1$ ⁵ über einen Prognosezeitraum von 400 Zeitschritten mit jeweils $\delta = 0.1$ Einheiten Abstand simuliert. Die Ergebnisse dieser Simulationen sind in den Abbildungen 2a und 2b visualisiert und lassen drei unterschiedliche Situationen erkennen:

⁵ Definitionsgemäß sind $A_e = 0$ und $E_o = 0$ die *niedrigsten* möglichen Werte dieser zwei Parameter. Da $A_e < A_i = 1$ und $E_o < E_n = 1$ können die Parameter A_e und E_o den Wert 1 *nicht überschreiten*.

Abb. 2a: Die Stabilität des alten Paradigmas, als Funktion der Akzeptanz A_e und der Einfachheit E_o

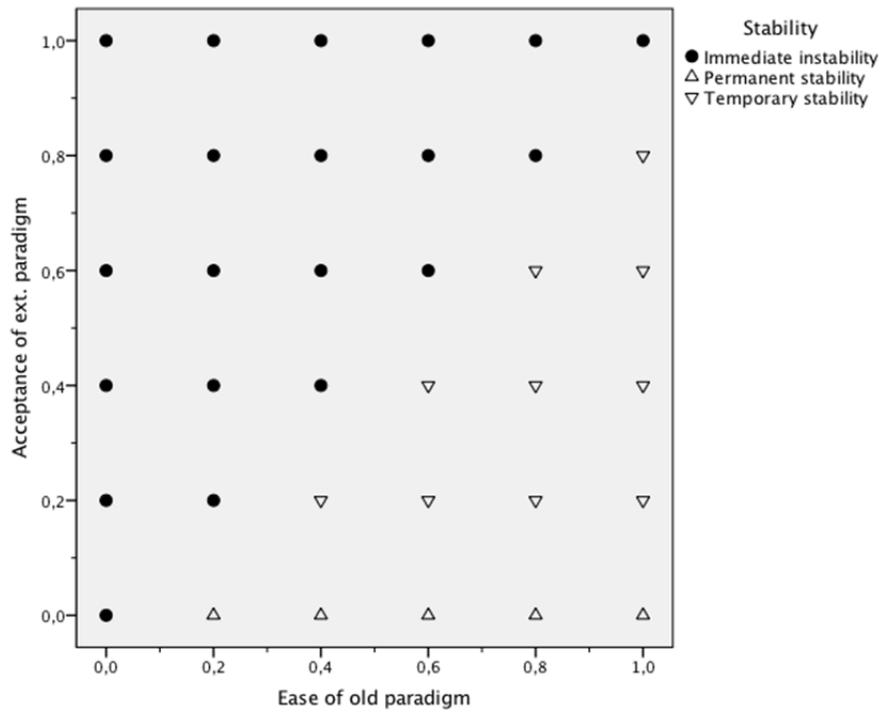
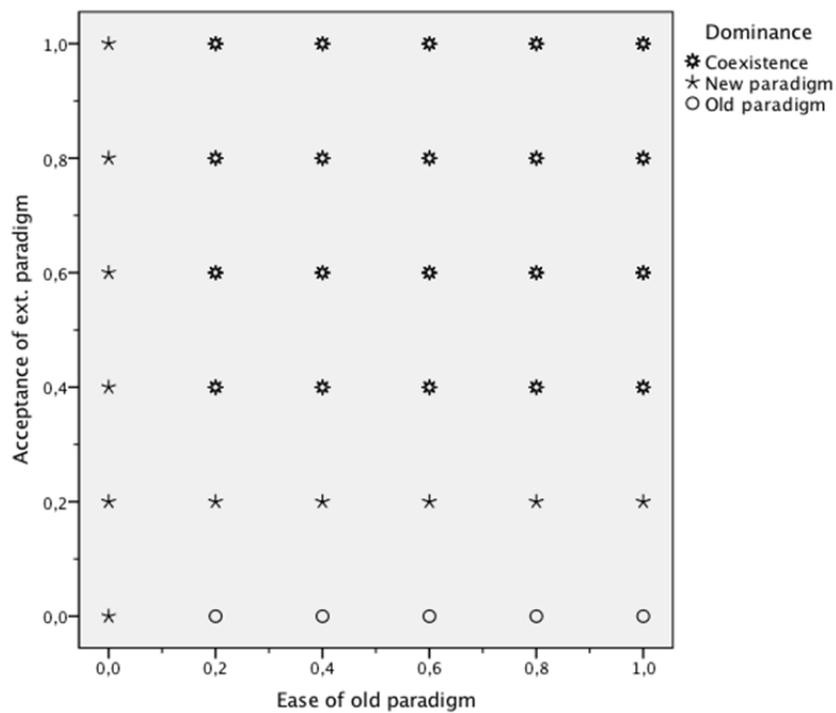


Abb. 2b: Die Langzeit-Dominanz der beiden Paradigmen als Funktion der Akzeptanz A_e und der Einfachheit E_o ⁶



⁶ Zeithorizont: 400 Zeiteinheiten.

- a) $A_e \geq E_o$: Wie Abbildung 2a zeigt, brechen wissenschaftliche Revolutionen in dieser Situation immer *ohne Verzug* aus. Wenn also die Anhänger/-innen des alten Paradigmas, die qua Voraussetzung zum Startzeitpunkt die *Editorial Boards* der Fachzeitschriften monopolistisch kontrollieren, gegenüber extra-paradigmatischen Ideen und damit insbesondere gegenüber dem neuen Paradigma zu tolerant sind, so tritt die Schwächung des alten Paradigmas unverzüglich ein. Falls für die Akzeptanz des externen Paradigmas zusätzlich noch $A_e > .2$ gilt, so bleibt die Revolution unvollständig und endet fast immer in einer multiparadigmatischen Situation (siehe Abbildung 2b): Das neue Paradigma wächst dann aufgrund seiner hohen Akzeptanz zu rasch und nützt sich in diesem Fall zu schnell ab, so dass das alte Paradigma seine relative Attraktivität nicht gänzlich verliert. Falls hingegen $A_e \leq .2$ ist, so setzt sich das neue Paradigma gemäß Abbildung 2b vollständig durch. Wie schon zuvor bemerkt, ist diese Art von unmittelbarer vollständiger wissenschaftlicher Revolution bei zufälliger Wahl der Simulationsbedingungen A_e und E_o eher selten (vgl. Abbildung 2a, b).
- b) $A_e < E_o$ aber $A_e > 0$: Die Einfachheit der Entdeckungen mit dem alten Paradigma ist in diesem Fall zu hoch für einen unverzüglichen Wandel, wie wir ihn im vorangehenden Abschnitt (a) diskutiert haben (siehe Abbildung 2a). Erst nach einer zusätzlichen Abnutzung des alten Paradigmas und einer Reduktion von E_o unter den Grenzwert A_e wird eine verzögerte Revolution ausgelöst (siehe Abbildung 2a). Für $A_e > .2$ endet diese verzögerte Revolution wiederum in einer multiparadigmatischen Situation (siehe Abbildung 2b). Ist dagegen $A_e \leq .2$, so setzt sich, wie im letzten Abschnitt (a) beschrieben, das neue Paradigma vollständig und monopolistisch durch (siehe Abbildung 2b).
- c) $A_e = 0$: Die Anhänger/-innen des alten Paradigmas üben in diesem Fall zu Beginn der Simulation eine monopolistische Kontrolle über die wissenschaftliche Produktion aus und verwenden diese zur Durchsetzung einer De-facto-Zensur für extra-paradigmatische Arbeiten. Wie Abbildung 2b zeigt, erweist sich dies nicht ganz unerwartet als eine evolutionär stabile Strategie, welche Revolutionen und paradigmatischen Wandel so lange zu verhindern vermag, als das alte Paradigma nicht völlig abgenutzt ist. Falls es allerdings im Rahmen des alten Paradigmas keine lösbaren Rätsel mehr gibt und E_o den Wert 0 erreicht, so müssen die Anhänger/-innen des alten Paradigmas ihren Widerstand gegen Neues aufgeben und es bricht unverzüglich eine klassische, vollständige Revolution aus, die mit dem Monopol des neuen Paradigmas endet (siehe Punkt ($E_o = 0, A_e = 0$) in Abbildung 2b).

Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Artikel haben wir ein Modell vorgestellt, mit dem sich sowohl wissenschaftliche Revolutionen im Sinne von Kuhn (1962) als auch andere Formen des paradigmatischen Wandels studieren lassen. Die von Kuhn beschriebene vollständige Ablösung eines alten Paradigmas durch ein neues erweist sich dabei als ein eher seltener Spezialfall, der nur dann eintreten kann, falls die Akzeptanz A_e externer, hier also neuer Paradigmen kleiner oder gleich 0.2 ist. In Anbetracht der großen Zahl konkurrierender wissenschaftlicher Fachzeitschriften ist die *Distanz* von A_e zu der auf 1 normierten Akzeptanz A_i der intra-paradigmatischen Arbeiten im Allgemeinen wohl nur klein. Weil dadurch A_e oft grösser als 0.5 ist, sollten gemäß Abbildung 2b eher multi- denn monoparadigmatische Situationen zu beobachten sein. Deren Entstehung ist für die erwähnten hohen Werte von A_e keinesfalls an die weitgehende Abnützung eines alten Paradigmas gebunden: Sobald die Einfachheit von Entdeckungen E_o kleiner ist als die eher *hohe* Akzeptanz A_e neuer, externer Paradigmen, so kann sich neben dem noch vitalen alten Paradigma *ohne weitere Verzögerung* ein neues bilden (siehe Abbildung 2a).

Unsere Aussagen zur spontanen Herausbildung multiparadigmatischer Wissenschaft beruhen auf Simulationen mit einem empirisch nicht weiter geprüften Modell. Als Fortsetzung dieser Arbeit ist daher geplant, geeignete Zeitreihendaten zur Ausbreitung von neuen Paradigmen zu suchen und das Simulationsmodell dann so zu kalibrieren, dass es diese Daten möglichst gut zu reproduzieren vermag. Als Datenquellen bieten sich hierzu die elektronischen Fachbibliografien *Google Scholar* (Google 2015) und *Web of Science* (Thomson Reuters 2015) an. Mit diesen Datenbanken kann man durch geschickte Auswahl von geeigneten Titelstichwörtern jene Zeitschriftenartikel und Bücher identifizieren, die im Rahmen eines bestimmten Paradigmas geschrieben worden sind. Diese lassen sich zur Jahresproduktion einer paradigmatischen Gemeinschaft aggregieren und anschließend zur empirischen Prüfung des Modells dieser Arbeit verwenden.

Literatur

- Axelrod, R. 1990: *The Evolution of Cooperation*. London: Penguin Books.
- Bornmann, L., Daniel, H.-D. 2009: The Luck of the Referee Draw: The Effect of Exchanging Reviews. *Learned Publishing*, 22. Jg., Heft 2, 117–125.
- Daniel, H.-D. 1993: *Guardians of Science: Fairness and Reliability of Peer Review*. Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft.
- Edmonds, B., Gilbert, N., Ahrweiler, P., Scharnhorst, A. 2011. Simulating the Social Processes of Science. *Journal of Artificial Societies and Simulation*, 14. Jg., Heft 4, 14 ff.
- Gilbert, N., Troitzsch, K. 2011: *Simulation for the Social Scientist*. Maidenhead: Open University Press.
- Google (Hg.) 2015: *Google Scholar*, <http://scholar.google.de/> (letzter Aufruf 5. Mai 2015).
- Hanuske, M. 2012: Evolutionary Game Theory and Complex Networks of Scientific Information. In A. Scharnhorst et al. (Hg.), *Models of Science Dynamics*. Berlin: Springer, Kap. 5.
- Kuhn, Th. 1962: *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
- Maynard Smith, J. 1993: *Evolution and the Theory of Games*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mueller, G. 2009: Universities as Producers of Evolutionarily Stable Signs of Excellence for Academic Labor Markets? *Semiotica*, Heft 175, 429–450.

- Mueller, G. 2012: The Dynamics and Evolutionary Stability of Cultures of Corruption: Theoretical and Empirical Analyses. *Advances in Complex Systems (ACS)*, 15. Jg., Heft 6.
- Shatz, D. 2004: Peer Review: A Critical Inquiry. Lanham: Rowman Littlefield.
- Sterman, J. 1985. The Growth of Knowledge: Testing a Theory of Scientific Revolutions with a Formal Model. *Technological Forecasting and Social Change*, 28. Jg., 93–122.
- Sterman, J., Wittenberg, J. 1999. Path Dependence, Competition, and Succession in the Dynamics of Scientific Revolution. *Organization Science*, 10. Jg., Heft 3, 322–341.
- Thomson Reuters (Hg.) 2015: Web of Science, <http://wokinfo.com/> (letzter Aufruf 5. Mai 2015).
- Tracy, J. et al. 2004: Tracking Trends in Psychological Science. In T. Dalton, R. Evans (Hg.), *The Life Cycle of Psychological Ideas*, New York: Kluwer, Kap. 5.
- Webb, J. 2007: *Game Theory: Decisions, Interaction and Evolution*. London: Springer.
- Weibull, J. 1996: *Evolutionary Game Theory*. Cambridge (Mass.): MIT Press.

Glossar der mathematischen Symbole

- A_e = Akzeptanzrate der extra-paradigmatischen Arbeiten.
- A_i = Akzeptanzrate der intra-paradigmatischen Arbeiten.
- A_n = Akzeptanzrate des neuen Paradigmas (new paradigm).
- A_o = Akzeptanzrate des alten Paradigmas (old paradigm).
- δ = Intervall-Länge zwischen zwei sequentiellen Zeitpunkten einer Differenzgleichung.
- ΔS_n = Wachstum des Anteils (share) der Anhänger des neuen Paradigmas (new paradigm).
- ΔS_o = Wachstum des Anteils (share) der Anhänger des alten Paradigmas (old paradigm).
- E_n = Einfachheit von Entdeckungen mit dem neuen Paradigma (new paradigm).
- E_o = Einfachheit von Entdeckungen mit dem alten Paradigma (old paradigm).
- F_n = Fitness der Anhänger/-innen des neuen Paradigmas (new paradigm).
- F_o = Fitness der Anhänger/-innen des alten Paradigmas (old paradigm).
- S_n = Anteil (share) der Anhänger/-innen des neuen Paradigmas (new paradigm).
- S_o = Anteil (share) der Anhänger/-innen des alten Paradigmas (old paradigm).