

Owe Jessen
Olshausenstraße 64a
24118 Kiel
Volkswirtschaftslehre
8. Fachsemester

Sommersemester 2001



Seminar zur Geld- und Kredittheorie
Prof. Dr. Thomas Lux

Erwartungsbildung, Lernen und die Dynamik von Finanzkrisen

Owe Jessen

31. Mai 2001

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	I
1. Einleitung	1
2. Heterogenität und Evolution der Erwartungsbildung	1
2.1. Modell der Währungskrise	1
2.1.1. Modell des repräsentativen Agenten	2
2.1.2. Erweiterung des Modells: Heterogene Agenten	3
2.2. Modell der Evolution der Erwartungsbildung	4
2.3. Simulationsergebnisse	5
3. Lern- und Nachahmungseffekte bei Finanzkrisen	8
3.1. Lern- und Koordinationsprozeß	8
3.2. Der Mechanismus lokaler Nachahmung	9
3.3. Simulationsergebnisse	10
3.4. Bewertung	12
4. Zusammenfassung	12

Abbildungsverzeichnis

1. Simulation mit konstantem δ^e , $p_{ex} = 0,33$, Quelle: Arifovic und Masson (2000, S. 28)	6
2. Histogramm der PDF von π_t^i , Quelle: Eigene Erstellung nach: Arifovic und Masson (2000, S. 27)	7
3. Simulation ohne Nachahmungseffekte mit Konvergenz des Systems, Quelle: Schuschny u. a. (2000, S. 5)	10
4. Selbstorganisierender Prozeß mit Nachahmungseffekten und Hintergrundrauschen. Quelle: Schuschny u. a. (2000, S. 6)	11
5. Vergleich des Bank Runs in Argentinien 1994 mit der Simulation. Links die Simulation ohne, rechts mit Regeln zum Smoothing. Quelle: Schuschny u. a. (2000, S. 8)	12

1. Einleitung

Die jüngsten Finanzkrisen in den Emerging Markets haben dazu geführt, daß vermehrt über die Ursachen dieser Krisen nachgedacht wird: Sind sie das Ergebnis politischer Fehler, struktureller Probleme oder werden sie gar zufällig ausgelöst, aufgrund einer Verschiebung der Markterwartungen.

Im folgenden soll der Einfluß von Lernprozessen und Nachahmungseffekten auf die Erwartungsbildung der Anleger untersucht werden, und in wieweit diese Finanzkrisen auslösen oder verstärken. Hierzu werden zwei Artikel ausgewertet, die diese Prozesse beschreiben. Ausgehend von ähnlichen Annahmen über Lern- und Nachahmungseffekte und die Evolution von Erwartungen, legen sie unterschiedliche Schwerpunkte: Arifovic und Masson (2000) untersuchen vor allem die Entwicklung der Erwartungen der Agenten, während Schuschny u. a. (2000) ein System entwickeln, das anhand der Lern- und Nachahmungseffekte den Übergang infolge eines exogenen Schocks erklärt.

Im ersten Teil des Papers wird der Aufsatz von Arifovic und Masson (2000) zusammenfassend dargestellt. Hierzu wird ein Krugman-Modell der Währungskrise mit einem repräsentativen Agenten erläutert und dieses für den Fall heterogener Agenten erweitert. Anschließend werden die Zusammenhänge bei der Evolution der Erwartungsbildung erklärt. Den ersten Teil schließen dann die Ergebnisse einer Simulation des Modells ab.

Im zweiten Abschnitt wird Schuschny u. a. (2000) erläutert. Für ein *bar-attendance-Modell* wird der Lern- und Koordinationsprozeß entwickelt und danach der Nachahmungsmechanismus. Darauf folgen die Ergebnisse einer Simulation und ihr Vergleich mit den Vorgängen in Argentinien 1994.

Schließlich werden die Ergebnisse der beiden Aufsätze zusammengefaßt und miteinander verglichen.

2. Heterogenität und Evolution der Erwartungsbildung

Arifovic und Masson (2000) beschreiben in ihrem Modell das Verhalten von risikoneutralen Anlegern, die vor der Wahl stehen, ihr Vermögen für eine Periode in einem „Emerging Market“ (EM) oder in den USA anzulegen sowie das Verhalten der Zentralbank eines EM, die einen fixen Wechselkurs mittels Devisenreserven verteidigt, bis diese aufgebraucht sind.

2.1. Modell der Währungskrise

Zunächst wird das Modell mit rationalen Erwartungen eines repräsentativen Agenten dargestellt, das später für den Fall exogener Erwartungen der Wirtschaftssubjekte erweitert wird.

2.1.1. Modell des repräsentativen Agenten

Das US-Wertpapier ist risikofrei und hat den bekannten Zinssatz r^* , während der Zinssatz des EM-Wertpapier r_t ein Abwertungsrisiko beinhaltet. Der repräsentative Agent investiert einen Anteil λ_t seines konstanten Vermögens \bar{W} in EM-Wertpapiere, so daß der erwartete Ertrag bei der Anlagemöglichkeiten übereinstimmt. Sei nun π_t die Wahrscheinlichkeit einer Abwertung um den Betrag δ^e , ergibt sich die Bedingung für das Portfolio-Gleichgewicht:

$$r^* + \pi_t \delta^e = r_t = r(\lambda_t). \quad (1)$$

Somit besteht für gegebenen US-Zinssatz und gegebenen Abwertungsbetrag ein negativer Zusammenhang zwischen dem EM-Zinssatz und dem Anteil λ_t , der sich invertiert wie folgt darstellt:

$$\lambda_t = \lambda(\pi_t), \frac{\partial \lambda}{\partial \pi_t} < 0. \quad (2)$$

Wie im Krugman-Modell wird eine Abwertung durch einen Rückgang der Devisenreserven unter eine Mindestmenge ausgelöst. Dabei ergibt sich die Veränderung der Reserven durch den Nettokapitalimport zuzüglich der Handelsbilanz, abzüglich der Zinszahlung auf die Nettoauslandsverschuldung:

$$R_t = R_{t-1} + T_t - (1 + r_{t-1})D_{t-1}, D_t = \lambda_t \bar{W}. \quad (3)$$

Dabei wird für die Handelsbilanz angenommen, daß sie einem stochastischem, genauer: einem AR(1)-Prozeß folgt:

$$T_t = \alpha + \beta T_{t-1} + \epsilon_t, \epsilon_t \sim NV(0, \sigma^2). \quad (4)$$

Somit erfüllt die bedingte Wahrscheinlichkeit für eine Abwertung in der Folgeperiode $\pi_t = Pr_t(R_{t+1} < 0 | \text{keine Abwertung})$ die Bedingungen für rationale Erwartungen. Diese Wahrscheinlichkeit läßt sich dabei unter der Annahme, daß das Reserveniveau R_t zur Informationsmenge des repräsentativen Agenten gehört, so formulieren:

$$\pi_t = Pr_t(B(T_{t+1}, \pi_{t+1}, \pi_t) < 0 | T_t, R_t). \quad (5)$$

Diese letzte Gleichung determiniert die rationalen Erwartungen in Bezug auf die Abwertungswahrscheinlichkeit für einen gegebenen stochastischen Prozeß von T_t . Obwohl sich die Dynamik von (5) nur schwer darstellen läßt, kann man für den Fall, daß B nur von π_{t+1} abhängig ist, und daß Übergänge zwischen verschiedenen Gleichgewichten von einer Markov-Übergangsmatrix beschrieben werden, zeigen, daß eine unbegrenzte Anzahl von rationalen Erwartungslösungen existiert. Somit erscheint es unwahrscheinlich, daß alle Agenten zu einem bestimmten Zeitpunkt die gleiche Einschätzung in bezug auf π_t besitzen. Dies widerspricht der Annahme, daß sich das Verhalten aller Wirtschaftssubjekte durch einen repräsentativen Agenten darstellen läßt.

2.1.2. Erweiterung des Modells: Heterogene Agenten

Diese letzte Schlußfolgerung führt zu einem Modell mit heterogenen Agenten. Es gibt n Investoren, jeder mit einem Vermögen \bar{W} , die Erwartungen über die Abwertungswahrscheinlichkeit π_t^i und -höhe $\delta_t^{e,i}$ bilden. Solange der erwartete Ertrag gleich groß ist, sind sie indifferent zwischen einer Anlage in US-Wertpapieren oder EM-Wertpapieren, da sie risikoneutral sind. Daraus folgt, daß sie ihr gesamtes Vermögen in eine der beiden Anlagemöglichkeiten investieren, solange die erwarteten Zinssätze unterschiedlich sind. Somit gilt für den Anlageanteil λ_t^i eines Investors:

$$\lambda_t^i = \begin{cases} 0, & \text{wenn } (1 + r^*) > (1 + r_t)/(1 + \pi_t^i \delta_t^{e,i}) \\ 1, & \text{wenn } (1 + r^*) < (1 + r_t)/(1 + \pi_t^i \delta_t^{e,i}) \end{cases} \quad (6)$$

Und es ergibt sich die Nachfrage nach EM-Wertpapieren durch ausländische Investoren aus¹:

$$D_t = \sum_{i=1}^n \lambda_t^i \bar{W}. \quad (7)$$

Die Geschäftsbanken im EM setzten den Zinssatz so, daß er die Markterwartungen hinsichtlich des Ertrags der EM-Verschuldung widerspiegelt. Es wird angenommen, daß die Geschäftsbanken selbst keine Erwartungen bilden, vielmehr nehmen sie den Durchschnitt der Erwartungen der Anleger als Maß der Höhe der erwarteten Abwertung. Das heißt, der Zinssatz auf EM-Anlagen entspricht dem US-Zinssatz plus einem gewichteten Durchschnitt der erwarteten Abwertungsrate:

$$r_t = [(1 + r^*) \prod_{i=1}^n (1 + \pi_t^i \delta_t^{e,i})^{1/n}] - 1. \quad (8)$$

Da von heterogenen Erwartungen ausgegangen wird, wird nur derjenige Anleger zutreffende Erwartungen haben, dessen Erwartungen den durchschnittlichen Erwartungen entspricht. Jeder einzelne Anleger wird seine Investitionsentscheidung von einem Vergleich mit der durch den Zinssatz ausgedrückten durchschnittlichen Erwartung abhängig machen. Wenn er optimistischer ist, in dem Sinne, daß er eine geringere Wahrscheinlichkeit für eine Abwertung annimmt als der Durchschnitt, wird er sein Vermögen im EM anlegen, ansonsten in US-Wertpapiere. In diesem Modell ist die Anleger-Heterogenität der Schlüssel, um den Betrag der EM-Wertpapiere zu ermitteln.

Unter den in den Gleichungen (3) und (4) gemachten Annahmen lassen sich die folgenden Aussagen über das Eintreten einer Abwertung machen:

So lange die Reserven R_t über einem Mindestmaß liegen, das im folgenden bei Null liegen soll, erfolgt keine Abwertung, $\delta_t = 0$.² Sollten die Reserven jedoch negativ werden, kommt es zu einer Abwertung, die den Betrag der Schulden reduziert, der zurückgezahlt wird. Dabei bestimmt sich die Höhe der Abwertung danach, wie groß der Fehlbetrag in der Zahlungsbilanz ist,

¹Es wird angenommen, daß das Wertpapierangebot in den USA und im EM unabhängig vom jeweiligen Zinssatz ist und die Nachfrage immer befriedigt wird.

²Beachte das fehlende Superscript, da es sich um realisierte Werte handelt.

der die Reserven in den negativen Bereich gedrückt hat, relativ zu den gesamten ausländischen Einlagen:

$$(1 + \delta_t) = \frac{(1 + r_{t-1})D_{t-1} - R_{t-1} - T_t - D_t}{D_t}. \quad (9)$$

Obwohl die Abwertung den geschuldeten Betrag erst in $t + 1$, nicht in t verringert, wird angenommen, daß sich die Bestandteile der Zahlungsbilanz so aufaddieren, daß die Reserven in t nicht kleiner als Null werden. Nachdem somit der Modellrahmen gegeben ist, wird im folgenden Abschnitt dargelegt, wie sich die Erwartungen hinsichtlich Wahrscheinlichkeit und Höhe einer Abwertung bilden.

2.2. Modell der Evolution der Erwartungsbildung

Es wird nun ein Lern-Modell untersucht, das n Agenten betrachtet, die begrenzt rational sind und die die Erfahrungen und das Wissen sammeln, die notwendig sind, um ihr Ergebnis im Zeitablauf zu verbessern. Der Lern-Algorithmus beschreibt die nachahmungsbasierte Anpassung der Regeln der Erwartungsbildung, wobei eine Regel hier ein Punktschätzer von $(\pi_t^i, \delta_t^{e,i})$ ist. Der Maßstab für den Erfolg einer Regel, ihre *Fitness* μ_t^i , ist der realisierte Ertrag:

$$\mu_t^i = \frac{1 + r_t}{1 + \delta_t} - 1, \quad (10)$$

falls in EM-Wertpapiere investiert wurde und

$$\mu_t^i = r^* \quad (11)$$

bei Anlage in US-Wertpapiere.

Sollte aufgrund einer Abwertung ($\delta_t > r_t$) die Fitness einen negativen Wert erhalten, wird diese gleich Null gesetzt. Somit erhalten alle Erwartungsregeln, die zu einem der beiden möglichen Werte von λ_t^i führen, den gleichen Fitness-Wert, auch wenn sie unterschiedliche Werte für π_t^i und $\delta_t^{e,i}$ haben. Es wird unterstellt, daß die Anleger am Ende jeder Periode ihre Erwartungen π_t^i und $\delta_t^{e,i}$ aktualisieren, entweder durch Nachahmung erfolgreicherer Regeln oder durch zufällige Experimente. Diese beiden Seiten der Erwartungsbildung werden im folgenden behandelt: Bei der Nachahmung wird davon ausgegangen, daß zu Beginn jeder Periode t ein Investor $i \in [1, \dots, n]$ seine Regel mit der Regel eines zufällig gewählten Investors $j \in [1, \dots, n]$ vergleicht. Dabei ist die Wahrscheinlichkeit Pr_t^j , daß eine Regel j gewählt wird, gleich der relativen Fitness der Regel:

$$Pr_t^j = \frac{\mu_t^j}{\sum_{i=1}^n \mu_t^i}. \quad (12)$$

Stellt der Investor beim Vergleich fest, daß die untersuchte Regel eine bessere Fitness hat als die eigene Regel, so wird diese in der nächsten Periode adaptiert, ansonsten wird an der eigenen Regel festgehalten. Hierbei ist zu beachten, daß in Fällen einer Abwertung, wo $\delta_t >$

r_t ist, die Fitness derjenigen, die im EM investiert haben, gleich Null ist und somit auch die Wahrscheinlichkeit, imitiert zu werden, diesen Wert annimmt.

Somit stellt Nachahmung für sich genommen ein Herdenverhalten dar, wodurch im Durchschnitt Erwartungsregeln, die bessere Ergebnisse bringen, in zunehmendem Maße übernommen werden und somit Anleger bei ihren Vergleichen häufiger auf diese Regeln stoßen.

Experimente bei der Erwartungsbildung werden wie folgt abgebildet: Mit einer Wahrscheinlichkeit p_{ex} experimentiert ein Investor $i \in [1, \dots, n]$ mit den beiden Bestandteilen seiner Regel. Wenn mit der erwarteten Wahrscheinlichkeit für eine Abwertung experimentiert wird, wird eine Zufallszahl aus der gleichverteilten Menge im Intervall $[0, \pi_{max}]$ gezogen. Analog wird bei einer Veränderung der erwarteten Größe der Abwertung eine Zufallszahl aus dem Intervall $[0, \delta_{max}^e]$ gezogen.

Hiermit ist jetzt ein Modellrahmen gegeben, der im Folgenden mit Hilfe computergestützter Simulationen überprüft wird.

2.3. Simulationsergebnisse

Um die Ergebnisse der Simulation mit der Wirklichkeit vergleichen zu können, wurden als Startwerte der Simulation für Auslandsverschuldung, Reserven und Handelsbilanz die Daten Argentiniens Ende 1996 verwendet und der AR(1)-Prozeß, der die Handelsbilanz steuert, für dieses Land geschätzt³.

Alle Werte werden als Monatsdaten und relativ zum BIP dargestellt. Der Betrag für das gesamte verfügbare Vermögen \bar{W} entspricht dem doppelten Betrag der ursprünglichen Auslandsverschuldung D_1 . Die Menge Investoren n ist gleich 100, die Maximalwerte π_{max} und δ_{max}^e sind gleich 0,1 bzw. 1. Durchschnittswerte über die Menge der Investoren sind durch $\bar{\pi}_t, \bar{\delta}_t^e$ und $\bar{\lambda}_t$ gekennzeichnet.

Es wurden zwölf verschiedene Modelle untersucht, wobei die Ergebnisse über fünf Simulationen mit je 10.000 Perioden gemittelt wurden⁴. Da sich die Ergebnisse qualitativ nicht unterscheiden, bezieht sich das folgende auf den Fall mit konstantem δ^e , dem einperiodigen Fitnesswert und einer Wahrscheinlichkeit für Experimente von $p_{ex} = 0.33$.

Wie die Abb. 1 zeigt, nehmen in Zeiten ohne Abwertung die durchschnittliche Abwertungserwartung π_t und der EM-Zinssatz r_t ab, während gleichzeitig Anlageanteil λ_t und die Reserven R_t zunehmen. Umgekehrt sind in Zeiten der Abwertung die Reserven gleich null, der Anlageanteil nimmt ab und Abwertungserwartungen und Zinssatz steigen.

Um die Ergebnisse der Simulation besser zu verstehen, sollen einige analytische Ergebnisse eines Modells mit unendlich vielen Agenten dargestellt werden. Unter dieser Annahme ergibt sich eine kontinuierliche Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (PDF) für π_t . Unter einigen verein-

³Für die Daten s. Arifovic und Masson (2000, S. 13f)

⁴Es wurden drei verschiedene Annahmen über das Verhalten von δ^e und σ_ϵ^2 gemacht: $\delta^e = 1$ und $\sigma_\epsilon^2 > 0$; $\delta_t^{e,i}$ veränderlich und $\sigma_\epsilon^2 > 0$; $\delta^e = 1$ und $\sigma_\epsilon^2 = 0$ und diese jeweils mit $p_{ex} = 0,33$ und $p_{ex} = 0,033$ simuliert. Dies wurde dann noch einmal wiederholt, wobei nun die Fitness als Mittelwert zweier aufeinanderfolgender Perioden gebildet wurde.

2. Heterogenität und Evolution der Erwartungsbildung

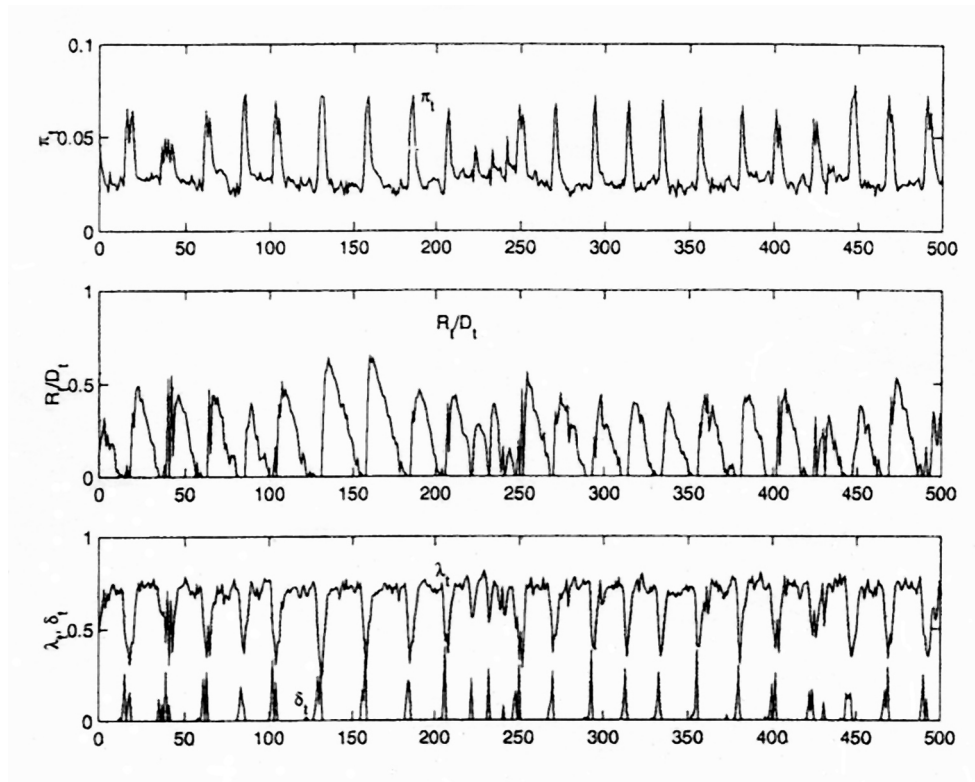


Abbildung 1: Simulation mit konstantem δ^e , $p_{ex} = 0,33$, Quelle: Arifovic und Masson (2000, S. 28)

fachenden Annahmen⁵ kommt man zu folgenden Ergebnissen: Bei heterogenen Erwartungen hängt der Wert für $\bar{\lambda}_t$ von der Schiefe der PDF ab, genauer: Wenn sie eine positive Schiefe hat⁶, ist $\bar{\pi}_t < 0,5$ und damit $\bar{\lambda}_t > 0,5$ und umgekehrt. Diesen Zusammenhang verdeutlicht auch Abb. 2 (links positive, rechts negative Schiefe). Dies entspricht auch den Beobachtungen der Simulation. Darüberhinaus verändert sich die Schiefe der Verteilung im Zeitablauf.

Nehmen wir an, es gibt eine Folge von Perioden ohne Abwertung. Normalerweise wird dies mit einer positiven Schiefe verbunden sein. Die Abwesenheit der Abwertung führt zu einer Erhöhung der Fitness der Erwartungen links des Durchschnitts, womit sich die Dichte im Zeitablauf aufgrund der Erwartungsbildung auf der linken Seite der PDF erhöht und sich die Schiefe zunächst verstärkt. Es läßt sich jedoch zeigen, daß es einen systemimmanenten Punkt von $\bar{\pi}_t$ gibt, ab dem sich der Prozeß umdreht, ohne daß eine Abwertung stattfindet⁷. Dieser Punkt tritt ein, wenn $\bar{\pi}_t$ das Intervall $[0, \pi_{max}/2]$ erreicht. In der Simulation waren diese Situationen der

⁵Vgl. Arifovic und Masson (2000, S. 16)

⁶D. h., das dritte zentrale Moment der PDF ist positiv.

⁷Für den Beweis s. Arifovic und Masson (2000, S. 17)

2. Heterogenität und Evolution der Erwartungsbildung

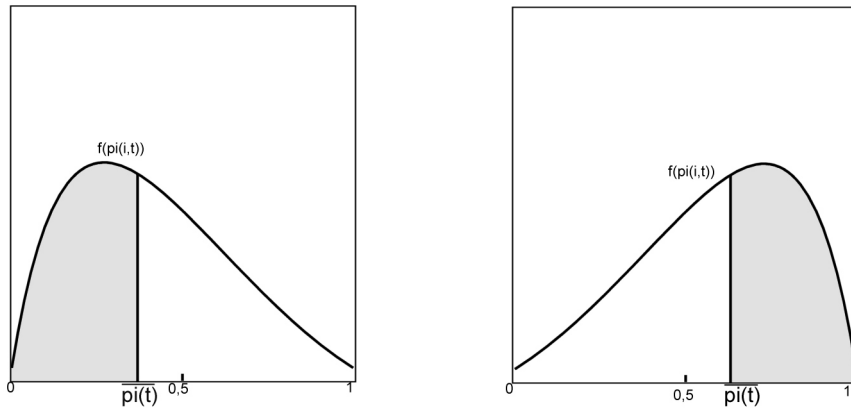


Abbildung 2: Histogramm der PDF von π_t^i , Quelle: Eigene Erstellung nach: Arifovic und Masson (2000, S. 27)

Umkehr von $\bar{\pi}_t$ die Auslöser einer Abwertungskrise. Mit umgekehrten Vorzeichen gilt das eben gesagte auch für aufeinanderfolgende Perioden der Abwertung.

Diese analytischen Ergebnisse spiegeln sich in den Simulationen wieder. Abb. 1 zeigt, daß der dynamische Prozeß mit einer Folge abnehmender Werte für $\bar{\pi}_t$ beginnt, und dieser Optimismus viele Marktteilnehmer motiviert, im EM zu investieren. Darauf folgen, ausgelöst von einer Abwertung, Zeiten zunehmender Werte von $\bar{\pi}_t$, die dazu führen, daß die Anleger ihr Geld abziehen und in US-Wertpapieren investieren.

Ein wesentliches Ergebnis der Simulation ist die Erkenntnis, daß die ersten Anzeichen einer Krise nicht steigende, sondern fallende Zinssätze und gleichzeitig steigende Portfolioanteile der EM-Investitionen sind.

Dies wird deutlich, wenn man sich den evolutionären Prozeß der Erwartungsbildung betrachtet. Zunächst ergibt sich eine Folge von Perioden ohne Abwertung und mit generell sinkenden $\bar{\pi}_t$. Somit haben Erwartungsregeln mit relativ geringen π_t^i eine höhere Fitness als solche mit relativ hohen Werten, wodurch erstgenannte bei der Nachahmung bevorzugt werden. Zusätzlich werden die bei Experimenten zufällig erzeugten Regeln mit niedrigen Werten von π_t^i in gleichem Maße evolutionär bevorzugt. Beides drückt den Wert von $\bar{\pi}_t$. Dabei gilt die Bedingung, daß Anleger, um weiterhin im EM zu investieren, ihre Erwartungsregel unter $\bar{\pi}_t$ halten müssen. Schließlich erreicht dieser Prozeß den kritischen Wert für $\bar{\pi}_t$ und dreht sich um. An diesem Punkt kann es zu einer Abwertung kommen, wenn die Reserven der Zentralbank niedrig genug sind, daß der Rückgang von $\bar{\lambda}_t$ die Reserven beim Versuch der Zentralbank, den Wechselkurs stabil zu halten aufbraucht und damit eine Folge von Perioden mit $\delta_t > 0$ auslöst.

3. Lern- und Nachahmungseffekte bei Finanzkrisen

Ziel des Artikels von Schuschny u. a. (2000) ist die Erklärung des Übergangs zwischen dynamischen Gleichgewichten aufgrund von Lern- und Nachahmungseffekten im Falle eines *bank runs* anhand eines *bar-attendance-Modells*⁸. Hierzu werden zwei Einflußgrößen auf das Verhalten von Wirtschaftssubjekten untersucht: zum einen die Vorstellungen der Agenten über den fundamentalen Zustands der Wirtschaft und zum anderen der Einfluß anderer Agenten auf das Handeln des Einzelnen.

Der erste Mechanismus wird durch einen „genetischen Algorithmus“ ähnlich dem Lernprozeß in Arifovic und Masson (2000) nachgebildet. Hierbei ist das Handeln abhängig von den Wirtschaftsdaten, die allen Agenten zugänglich sind, jedoch jeweils individuell gedeutet werden.

Der zweite Mechanismus wird durch den Vergleich des Ergebnisses eines Agenten mit seiner Nachbarschaft dargestellt. Dies entspricht dem Nachahmungseffekt in Arifovic und Masson (2000).

Das Modell betrachtet eine große Anzahl von Agenten N_{ag} , die zu Beginn jeder Periode eine Geldeinheit erhalten und diese entweder als Sichteinlage zur Bank bringen oder bar behalten können. Dabei erhält der Agent eine positive Rendite auf Depositen, solange das aggregierte Niveau zwischen den Grenzwerten S_0 (Untergrenze, die Bank kann ihre Verpflichtungen nicht erfüllen) und S_1 (Der Agent hat Wartekosten bei der Einzahlung). Dabei entscheiden sich die Agenten für eine Anlagestrategie für die nächsten N_d Tage, an welchen Tagen sie eine Einzahlung machen und wann sie ihr Geld behalten.

3.1. Lern- und Koordinationsprozeß

Jeder Agent verfügt über N_p Anlagestrategien. Jede Strategie besteht aus N_d Bits, wobei N_d der Anzahl der Handelstage pro Woche entspricht. Der Zustand des Bits steuert dann die Anlage-tätigkeit am jeweiligen Tag. Am Ende einer Woche vergleicht der Agent dann das Ergebnis der ihm zur Verfügung stehenden Strategien anhand des Nutzens, den ihre Durchführung erbracht hätte. Die beste Strategie wird dann für die kommende Woche ausgewählt.

Das Bit $\#_{k,p}^t$ des Agenten k für die Strategie p am Tag t nimmt den Wert 0 (keine Anlage) oder 1 (Anlage) an. Sei v die angewandte Strategie der Agenten, ergibt sich der Anteil der Depositen D_t für einen Tag aus:

$$D_t = \frac{1}{N_{ag}} \sum_{k=1}^{N_{ag}} \#_{k,v}^t. \quad (13)$$

Auf der Grundlage der aggregierten Depositen berechnet die Bank nun den Zinssatz r_t für den Tag. Dabei gibt es grundsätzlich drei Ergebnisse:

⁸Das Verhalten der Agenten entspricht dabei dem von Personen, die sich überlegen, an welchen Tagen sie eine bestimmte Kneipe besuchen, wobei sie ihre Entscheidung von der Menge der Besucher abhängig machen: sind es zu wenig, lohnt es sich nicht, sind es zu viele, lohnt es sich auch nicht.

- Wenn $D_t < S_0 \Rightarrow r_t = -1$. Agenten, die Einzahlungen getätigt haben, machen einen Verlust, da die Depositen nicht die Mindestmenge der Bank erreicht haben.
- Wenn $S_0 \leq D_t \leq S_1 \Rightarrow r_t = \frac{r_0}{N_{ag} D_t}$. Der Zinssatz r_t sinkt mit zunehmenden Einlagen, wobei r_0 einen Referenzzinssatz bezeichnet.
- Wenn $D_t > S_1 \Rightarrow r_t = -r_{cost}$, $r_{cost} \approx 0,01$. Für den Fall, daß die Einlagen den oberen Schwellenwert S_1 übersteigen, entstehen den Agenten Kosten, um ihren Zeitverlust beim Anstehen in der Bank in die Berechnung einzubeziehen. Hierdurch wird ein oberes Limit für die Einlagen erzeugt.

Die Fitness jeder Strategie wird für jeden Tag und die Woche insgesamt aufgezeichnet und wie folgt berechnet:

- Wenn $r_t = r(D_t)$ und $\#_{k,p}^t = 1 \Rightarrow U_{k,p}^t = U_{k,p}^{t-1} + (1 + r_t)$, mit positiver oder negativer Rendite, abhängig vom Vorzeichen von r_t .
- Wenn $r_t = -1$ und $\#_{k,p}^t = 0 \Rightarrow U_{k,p}^t = U_{k,p}^{t-1} + 1$, da der Anleger sein Einkommen behalten hat.
- Wenn $r_t = r(D_t) > 0$ und $\#_{k,p}^t = 0 \Rightarrow U_{k,p}^t = U_{k,p}^{t-1} + (1 - r_t)$. Der Agent hat keine Einzahlung gemacht und daher muß er Opportunitätskosten einrechnen, weil die Bank einen positiven Zinssatz gezahlt hätte.

Sobald das System einmal die N_d Tage der Woche durchläuft, speichern die Agenten den Nutzen aller verfügbaren Strategien. Danach wird dann ein *genetischer Algorithmus* aktiviert, der ihre Strategien aktualisiert. Sobald der Algorithmus seine Auswahlverfahren, Überkreuzen und Mutation, beendet hat, kehrt er zum ersten Schritt des Iterationsverfahrens zurück.

3.2. Der Mechanismus lokaler Nachahmung

Der Mechanismus lokaler Nachahmung wird dadurch dargestellt, daß jeder Agent an jedem Tag die Wahl hat, entweder mit seiner eigenen Strategie fortzufahren, oder die Strategie seiner nächsten Nachbarn zu imitieren. Ex post bestimmt jeder Agent, ob seine Nachbarn eine bessere oder schlechtere Entscheidung getroffen haben als er selbst bei seiner gerade realisierten Strategie. Hierzu werden die Agenten auf eine Matrix verteilt, und die Position eines Agenten wird mit Zeile i und Spalte j gekennzeichnet. Darauf aufbauend wird die Fitness des lokalen Feldes um den k ten Agenten berechnet:

$$h_k = h_{ij} = \frac{1}{4}(\#_{(i,j+1)}^t + \#_{(i,j-1)}^t + \#_{(i+1,j)}^t + \#_{(i-1,j)}^t) \quad (14)$$

Sobald das lokale Feld $h_k = h_{ij}$ bekannt ist, kann der Agent die Handlung bestimmen, die er durchführen müßte um mit seinem lokalen Feld im Einklang zu sein. Damit dieses Vorgehen

nicht vollständig deterministisch ist, wird als Zufallselement ein Hintergrundrauschen eingeführt, daß einer Glauber-Dynamik folgt⁹.

Wenn der Nutzen der Strategie, die aus der Betrachtung des lokalen mittleren Feldes resultiert, an einem Handelstag größer ist als die der von einem Agenten aktuell verfolgten Strategie, wird sich der Agent am nächsten Tag an die Strategie des Feldes halten. Ansonsten wird er seine eigene Strategie fortführen.

3.3. Simulationsergebnisse

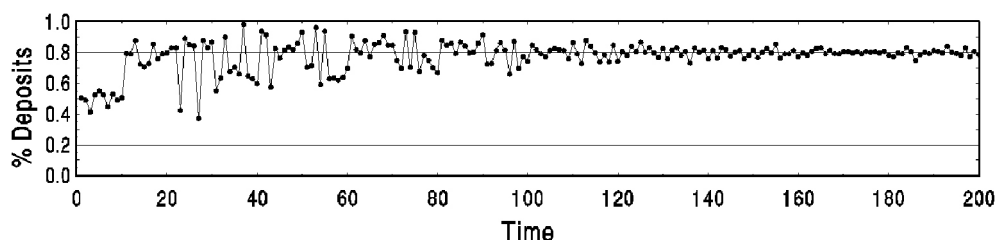


Abbildung 3: Simulation ohne Nachahmungseffekte mit Konvergenz des Systems, Quelle: Schuschny u. a. (2000, S. 5)

Das Ergebnis der Verarbeitung der öffentlich zugänglichen Informationen führt zu einem asymptotisch stabilen Zustand, in dem sich die Agenten so organisieren, daß sie so viele Einzahlungen machen wie von den Grenzwerten S_0 und S_1 her zulässig (Vgl. Abb. 3). Dieses Ergebnis ist unabhängig von der Form der Funktion, die den Zinssatz bestimmt. Es kann jedoch passieren, daß das System in einem suboptimalen Zustand hängen bleibt, wenn rein zufällig in einem frühen Stadium der Evolution die Agenten ein Depositenniveau unter S_0 einzahlen. Während der folgenden Schritte der Anpassung bedeutet jede Einzahlung an diesem Tag der Woche einen Verlust, und somit wird dieser Tag im folgenden nicht mehr für Einlagen verwendet.

Das System erreicht einen stationären Zustand, der *dynamisch* stabil ist, da die Agenten ja zu jedem Zeitpunkt neue Strategien aufgrund der Mutation erzeugen. Andererseits ist das System eben aufgrund seiner Diversität stabil, denn es können nicht alle Agenten gleichzeitig Einlagen tätigen, da dies die Obergrenze S_1 überschreiten würden. Das System entwickelt einen Pool von Strategien, anhand derer verschiedene Agenten an unterschiedlichen Tagen Einzahlungen machen, und wobei gleichzeitig einige Agenten mehr einzahlen als andere.

Wenn man Nachahmungseffekte hinzufügt, verstärken sich diese und die Selektionseffekte gegenseitig (vgl. Abb. 4). Dies verhindert auch, daß das System in einem suboptimalen Zustand hängenbleibt. Im folgenden werden die Effekte einer exogenen Krise untersucht. Hierzu wird die untere Grenze S_0 erhöht, wodurch die Agenten veranlaßt werden, ihr Verhalten zu ändern. Sobald die Krise beginnt, zeigt das Verhalten der Agenten erstaunliche Eigenschaften:

⁹Vgl. Fußnote 1, Schuschny u. a. (2000, S. 4f)

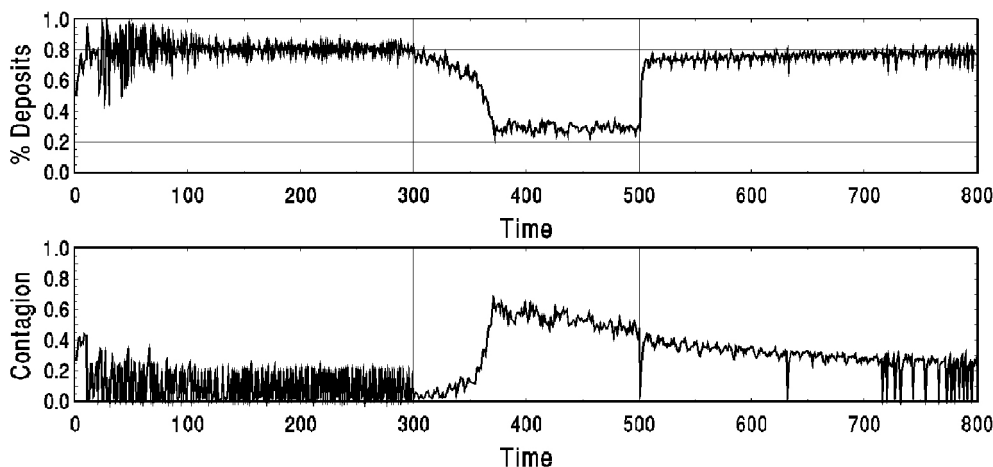


Abbildung 4: Selbstorganisierender Prozeß mit Nachahmungseffekten und Hintergrundrauschen. Quelle: Schuschny u. a. (2000, S. 6)

Die Agenten, die Nachahmungsstrategien verfolgt haben, hören damit auf und setzen auf ihre eigenen Regeln. Dieses Verhalten dauert einige simulierte Wochen an. Aufgrund des exogenen Schocks lernen einige Agenten, keine Einzahlungen zu machen. Um eine breite Masse der Agenten zu diesem Verhalten zu veranlassen, wird eine kritische Masse Agenten benötigt, die dieses Verhalten aufweisen. Ist dieser Punkt erreicht, entsteht eine „Ansteckungswelle“, die eine massive Verringerung der Einzahlungen zur Folge hat. In Abb. 4 ist $t = 300$ der Zeitpunkt des Beginns der Krise. Schlagartig verringert sich der Anteil der Nachahmungstäter, wobei graduell über die nächsten 40 Perioden die Depositen zurückgehen. Schließlich ist die kritische Masse erreicht, und die Einlagen gehen innerhalb kurzer Zeit auf ihr unteres Level zurück.

Die Krise wird in der Simulation dadurch beendet, daß S_0 auf seinen Ursprungswert zurückgesetzt wird. Wenn die Krise relativ kurz war, verlieren die Agenten nicht die Erinnerung an die bisher erfolgreichen Strategien und verwenden sie wie vor dem exogenen Schock. Sollte die Krise jedoch relativ lange anhalten, erlernen die Agenten ein Verhalten, daß den Bankensektor komplett vernachlässigt. Um wieder Vertrauen in das Bankensystem aufzubauen, müssen gleichzeitig viele Agenten wieder Einzahlungen tätigen. Da dies nur zufällig geschehen könnte, ist dieses Ergebnis höchst unwahrscheinlich.

Die Erfahrung zeigt, daß der Übergang vom Normalfall zur Krise sehr kurzfristig geschieht, während die Erholung ein allmählicher Prozeß ist. Um dies in der Simulation abzubilden, werden die folgenden Änderungen eingeführt: Nach Eintritt einer Krise wählen die Agenten aus einem komplett neuen Pool von Strategien, was den Lernalgorithmus neu beginnen läßt. Diese Verhaltensregel wird ausgelöst, wenn mehr als die Hälfte der Agenten unter dem Einfluß von Nachahmungseffekten handelt. Das zweite Element, daß den Übergang von einer Krise zum normalen Gleichgewicht verlangsamt ist eine Regel, die die Risikoaversion der Agenten erhöht.

4. Zusammenfassung

Es wird angenommen, daß 40% der Agenten sich nicht von ihren Nachbarn anstecken lassen, wenn diese erneut Vertrauen in das Bankensystem fassen und Depositen tätigen.

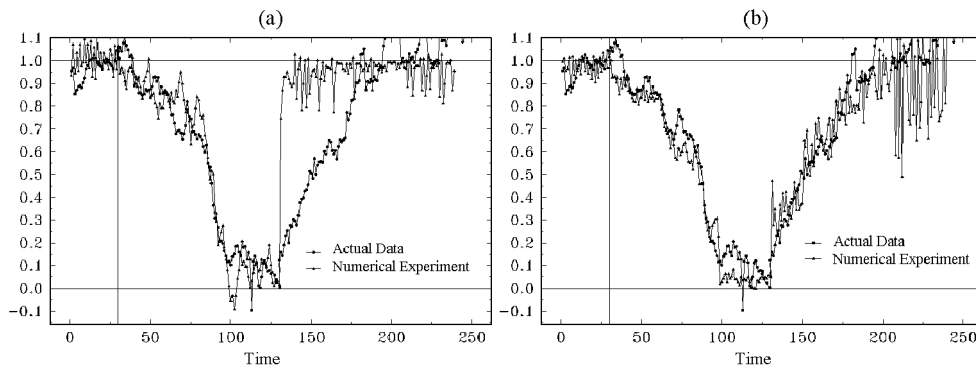


Abbildung 5: Vergleich des Bank Runs in Argentinien 1994 mit der Simulation. Links die Simulation ohne, rechts mit Regeln zum Smoothing. Quelle: Schuschny u. a. (2000, S. 8)

Abb. (5) zeigt die Veränderung des Anteils der Depositen in Abhängigkeit von der Zeit. Im Falle (a) wurden keine Veränderungen gegenüber dem Grundmodell vorgenommen, während Fall (b) den Einfluß der zuletzt genannten Änderungen am Modell widerspiegelt. Man kann deutlich die Perioden der Stabilität, Vorsicht, Panik und Rückkehr zum Gleichgewicht erkennen.

3.4. Bewertung

4. Zusammenfassung

In den beiden Aufsätzen wurden ähnliche Annahmen über das Verhalten der Agenten getroffen in bezug auf ihr Lernverhalten, Nachahmungseffekte und die Bildung von Erwartungen. Dieses Modell der Agenten wurde dann auf unterschiedliche Weise auf das Problem der Anlageentscheidung auf Emergency Markets angewandt:

Arifovic und Masson (2000) untersuchen das Verhalten von Investoren auf dem Markt für Emergency-Market-Anleihen im Rahmen eines Krugman-Modells der Währungskrise. Ihr Modell erklärt das Herdenverhalten, das bei Finanzmarktkrisen typischerweise beobachtet wird, mit Hilfe eines einfachen Mechanismus der Erwartungsbildung. Im Gegensatz zu den meisten anderen Modellen des Herdenverhalten beruhen „Informationslawinen“ nicht auf asymmetrischen Informationen, sondern auf dem Erfolg jeder möglichen Investmentstrategie. Dieser beeinflusst die Auswahl der Erwartung in der nächsten Periode, und resultiert (da der Erfolg zu mehr Kapitalimporten führt) in einer Situation der Überschuldung. Diese Schuld kann dann nur noch bezahlt werden, wenn es weiterhin gelingt, immer mehr Investoren anzulocken, was unweigerlich zu einem Zusammenbruch führt.

Ein wesentliches Ergebnis ist ferner, daß sich die Stabilität des Systems oder auch die Wahrscheinlichkeit für eine Abwertung aus der Form der Verteilung der erwarteten Abwertungswahrscheinlichkeit ableiten kann. Je größer die Schiefe der Verteilung, desto eher ergibt sich eine Umkehr von übermäßigem Optimismus bzw. Pessimismus und damit eine Richtungsänderung bei der Entwicklung der Anlage im EM.

Schuschny u. a. (2000) beschreiben das Verhalten inländischer Wirtschaftssubjekte auf dem Geldmarkt eines Emerging Markets bei Sichteinlagen. Da die Anleger einer Mengenbeschränkung bei den Depositen unterworfen sind, ergeben sich keine Phasen zu großem Optimismus, das System erreicht einen stationären Zustand. Erst durch einen exogenen Schock kann es aus diesem Zustand ausbrechen. Wenn dieser Schock erfolgt, benötigt das System eine gewisse Zeit, bis eine kritische Menge der Agenten ihr Verhalten umstellen. Ist diese Menge erreicht, kommt es nachahmungsbedingt zu einer Lawine der Informationsverbreitung, die das Bankensystem zusammenbrechen läßt.

In diesem Modell wird auch der Asymmetrie der Dynamik von Finanzkrisen Rechnung getragen. Während das unangepaßte Modell wirklichkeitsfern nach dem Ende des exogenen Schocks in sein Ursprungsgleichgewicht zurückspringt, zeigt es durch eine Anpassung der Risikoaversion eine „vorsichtige“ Rückkehr zum Ausgangszustand.

Literatur

[Arifovic und Masson 2000] ARIFOVIC, Jasmina ; MASSON, Paul: *Heterogenity and Evolution of Expectations in a Model of Currency Crisis*. 2000. – Unveröffentlichtes Manuskript, Simon-Fraser-University

[Schuschny u. a. 2000] SCHUSCHNY, A. ; PERAZZO, R. P. J. ; HEYMANN, D.: *Learning and Contagion Effects in Transitions between Regimes: A Schematic Model of Bank Runs*. 2000. – Unveröffentlichtes Manuskript, University of Buenos Aires