Devisenmärkte und Turbulenz

W. Breymann, S. Ghashghaie, J. Peinke, Peter Talkner

Angaben zur Veröffentlichung / Publication details:

Breymann, W., S. Ghashghaie, J. Peinke, and Peter Talkner. 1997. "Devisenmärkte und Turbulenz." Physik Journal 53 (4): 339–40. https://doi.org/10.1002/phbl.19970530411.

Devisenmärkte und Turbulenz

W. Breymann, S. Ghashghaie, J. Peinke und P. Talkner

Das geläufige Wort von den „Turbulenzen am Devisenmarkt" ist in einem ungeahnten Sinn zutreffend: Wie Untersuchungen von Physikern und Statistikern zeigen, weisen Kursentwicklungen an Devisenmärkten und Geschwindigkeitsverteilungen in turbulenten Strömungen verblüffende Gemeinsamkeiten auf. Das aus der Turbulenztheorie bekannte Kaskadenmodell der Energieübertragung von großen auf kleine Wirbel hat ebenso ein Analogon „auf dem Parkett" wie die Belastung einer Flugzeugtragfläche in turbulenter Luftströmung. Absturz hier, Zahlungsunfähigkeit dort – hat auch hier die Umgangssprache schon längst vereint, was dem gleichen Gesetz gehorcht?

Seit in den siebziger Jahren die Wechselkurse freigegeben wurden, werden sie vom Markt bestimmt und ändern sich damit fortlaufend. In den vergangenen zwanzig Jahren sind die Devisenmärkte zu einem globalen Markt zusammengewachsen, dessen Teilnehmer über ein weltweites Datennetz miteinander verbunden sind. Neue Notierungen, die im Abstand von Sekunden eintreffen, stehen allen Interessenten nahezu augenblicklich zur Verfügung. Gehandelt wird per Telefon oder per Computer – vom Entschluß des Händlers bis zur Ausführung einer Transaktion vergehen oft nur wenige Minuten. Ferner werden im wesentlichen genormte Mengen gehandelt. Die Volumina der einzelnen Kontrakte bewegen sich im Bereich von mindestens 100 000 bis hin zu mehreren Millionen Dollar, aber auch weitaus größere Kontrakte sind möglich. Das täglich gehandelte Gesamtvolumen beträgt nach Schätzungen aus dem Jahre 1995 ca. 1.3 Billionen Dollar [1]. Durch die weltweite Vernetzung ist der Markt rund um die Uhr immer irgendwo auf der Welt aktiv; nur an Wochenenden und an einigen wenigen Feiertagen ruht der Handel gänzlich.

Die Kursänderungen erscheinen auf den ersten Blick vollkommen regellos. Der Erfolg eines Devisenhändlers hängt von seiner Fähigkeit ab, Tendenzen der Kursänderungen vorherzusehen bzw. die damit verbundenen Risiken abzuschätzen. Hierzu sind statistische Aussagen über Kursschwankungen, bezogen auf verschiedene Zeitabstände Δt, wichtig. In den letzten Jahren wurde verschiedentlich die Frage aufgeworfen, ob sich in den Kursschwankungen Regelmäßigkeiten verbergen [2]. Müller et al. haben beobachtet, daß Langzeitfluktuationen der Notierungen einen Einfluß auf Kurzzeitfluktuationen haben [3]. Die Analyse wird dadurch erschwert, daß die Notierungen die einzig verfügbare Marktinformation darstellen. So werden zum Beispiel die Volumina der einzelnen Transaktionen nicht bekanntgegeben.

Untersucht man in einer turbulenten Strömung die Geschwindigkeit entlang einer Wegstrecke, so findet man ebenfalls ein scheinbar regelloses Signal. Im Gegensatz zu den Finanzmärkten kennen wir für die turbulente Strömung deterministische Gleichungen, nämlich die seit dem 19. Jahrhundert bekannten Navier-Stokes-Gleichungen. Das zentrale Problem der Turbulenzforschung liegt darin, daß sich diese Gleichungen bis heute nicht allgemein lösen lassen und Näherungen umso schwieriger werden, je turbulenter die Strömung ist [4]. Deshalb versucht man, mit Hilfe verschiedener Ansätze zumindest die Statistik eines turbulenten Strömungsfeldes zu verstehen [5]. Von besonderem Interesse sind dabei die statistischen Eigenschaften der Differenzen der Geschwindigkeiten auf verschiedenen Abständen Δr, die als Inkremente bezeichnet werden. Das allgemein akzeptierte Bild der Turbulenz baut auf dem von Richardson postulierten Kaskadenmodell auf [6]: Der Strömung wird Energie auf einer großen Längenskala zugeführt, auf der sie Wirbel erzeugt. Für ein fahrendes Auto beispielsweise sind die typischen Längen einige Meter, für das Wettergeschehen viele Kilometer. In einem kaskadenartigen Prozeß wird nun diese Energie auf immer kleiner werdende Wirbel übertragen, bis sie schließlich auf kleinsten Längenskalen durch Reibung in Wärme überführt wird. Diese Energiekaskade kann sich je nach Größe der Reynolds-Zahl über einen Längenbereich von mehreren Größenordnungen erstrecken.

Kürzlich konnte in einer fächerübergreifenden Zusammenarbeit von Physikern und Statistikern aus der Schweiz und aus Deutschland gezeigt werden, daß die statistischen Eigenschaften der US-Dollar/DM-Wechselkursdaten denen der Turbulenz sehr ähneln [7]. Insbesondere wurden die Wahrscheinlichkeitsverteilungen der jeweiligen Inkremente (oder Schwankungen) für verschiedene Zeitintervalle Δt im Fall der Wechselkurse bzw. räumliche Abstände Δr im Fall der Strömung untersucht (vergl. Abb. 1). Die Verteilungen weisen zwei gemeinsame Eigenschaften auf: Zum einen wächst ihre Breite (Varianz) als Funktion von Δ an. Zum anderen verändert sich ihre Form: Für große Δ ist sie gaußförmig, für kleiner werdende Δ wird sie auf Kosten der Flanken im Zentrum immer spitzer und an den Flügeln fetter (erhöht).

Die *Varianzen* wachsen in beiden Fällen proportional zu einer Potenz des gewählten zeitlichen bzw. räumlichen Abstandes Δ. Zwar sind die Werte des zugehörigen Exponenten ξ_2 mit 2/3 für die Turbulenz und 0.8 für die Wechselkurse verschieden, sie sind aber beide deutlich kleiner als 1, der Wert, der für eine Brownsche Bewegung mit unkorrelierten Inkrementen charakteristisch ist. Das Verhalten der Varianz der Inkremente ist eng verknüpft mit dem sog. Leistungsspektrum des eigentlichen Signals. Als Funktion der Wellenzahl k für die Strömungsdaten oder der Frequenz f für die Finanzdaten zeigt das Leistungsspektrum dementsprechend einen Abfall proportional zu $1/k^{\alpha}$ oder $1/f^{\alpha}$ mit $\alpha = 1 + \xi_2$.

PD Dr. Wolfgang Breymann, Institut für Physik, Universität Basel, CH-4056 Basel – Dr. Shoaleh Ghashghaie, Institut für Mathematische Statistik, Universität Bern, CH-3012 Bern – PD Dr. Joachim Peinke, Experimentalphysik II, Universität Bayreuth, D-95440 Bayreuth – PD Dr. Peter Talkner, Paul-Scherrer-Institut, CH-5232 Villigen

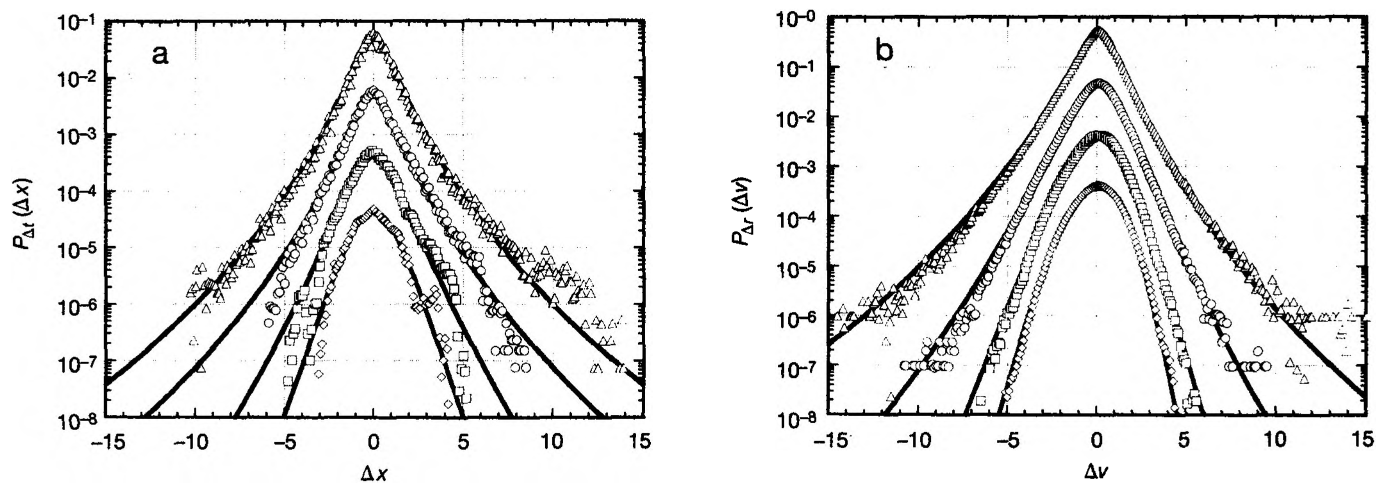

Abb. 1: Die Schwankungen des Dollar/DM-Wechselkurses weisen statistische Eigenschaften auf, wie sie aus turbulenten Strömungen bekannt sind. Teilbild a) zeigt die Wahrscheinlichkeitsverteilungen $P_{\Delta t}(\Delta x)$ für Preisänderungen $\Delta x = x(t) - x(t+\Delta t)$ über die Zeitintervalle $\Delta t = 640$ s, 5120 s, 40960 s, 163840 s (von oben nach unten), jeweils auf die Standardabweichung normiert. Die durchgezogenen Linien sind Ergebnisse eines Least-square-Fits. Der Analyse liegen rund 1.5 Millionen Kursnotierungen (Mittelkurse) zwischen Oktober 1992 und September 1993 zugrunde. Der besseren Übersichtlichkeit wegen sind die Verteilungen durch Multiplikation mit Potenzen von Zehn vertikal gegeneinander verschoben. Teilbild b) zeigt die Verteilung von Geschwindigkeitsdifferenzen Δv zwischen Punkten einer turbulenten Strömung im Abstand Δr (von oben nach unten: $\Delta r = 3.3\eta$, 18.5η, 138η, 325η, wobei η die Kolmogorovsche Längenskala bezeichnet, unterhalb der die Strömung laminar ist). Sowohl bei den Wechselkursen als auch bei der turbulenten Strömung wächst die Breite der Verteilung als Funktion von Δt bzw. Δr an. Außerdem ist die Verteilung für große Δ gaußförmig, und für kleine Δ werden Zentrum und Flügel der Verteilung auf Kosten der Flanken überhöht. Was die Kursschwankungen betrifft, so eignet sich die Analyse zur Risikoabschätzung auf den betrachteten Zeitskalen von < 2 Tagen.

Die Analyse der Finanz- und Turbulenzdaten mittels Leistungsspektren oder Varianzen ist statistisch unvollständig. Insbesondere geben diese Methoden keinen Aufschluß über die Intermittenz, einem wesentlichen Merkmal der Turbulenz, das der Forschung bis heute Rätsel aufgibt. Von Intermittenz im statistischen Sinne spricht man bei Wahrscheinlichkeitsverteilungen, deren Zentrum und Flügel im Vergleich zur Normalverteilung betont sind. In der Turbulenz manifestiert sich die Intermittenz nicht nur in einer charakteristischen *Verteilungsform*, sondern auch in der Veränderung der Verteilungsformen mit dem Abstand Δ. Im Rahmen der erwähnten Zusammenarbeit konnte gezeigt werden, daß dieser Intermittenzeffekt ebenfalls in der Statistik der US-Dollar/DM-Marktdaten auftritt [7]. Wie man aus Abb. 1 erkennt, lassen sich die Verteilungen der Finanzdaten in guter Qualität mit theoretischen Verteilungsfunktionen, die für die Turbulenz aus dem lognormal-Modell [8] abgeleitet wurden [9], beschreiben. Überraschend ist, wie gut sich auch die weiteren Details der Verteilungen der Wechselkursänderungen in die klassische Turbulenzvorstellung von Kolmogorov und Obukhov einfügen [7, 8]. In dieser phänomenologischen Theorie wird angenommen, daß sich die auf großen Längen zugeführte Energie in einem multiplikativen Zufallsprozeß auf die kleineren Skalen überträgt.

Für die Finanzdaten ist folgendes Bild einer Transaktionskaskade naheliegend: Die treibende Kraft sind große Aufträge wichtiger Kunden. Eine Bank in Deutschland beispielsweise, die eine große Menge (mehrere Hundert Millionen) Dollar gekauft hat, behält dieses Geld in der Regel nicht, sondern versucht aus Gründen der Risikominimierung, ihre Position glattzustellen, d. h., einen großen Teil des Geldes an andere Händler weiterzuverkaufen. Die anderen Händler verhalten sich ebenso. Dieses Verhalten führt unserer Ansicht nach zu einer Kaskade von Transaktionen. Einen Hinweis darauf liefert die Tatsache, daß sich etwa 90 Prozent des Handels zwischen Händlern (im wesentlichen Banken) abspielt.

Die Statistik der Fluktuationen in bestimmten Zeitintervallen ist wichtig zur Risikoabschätzung. Dabei sind die Flügel der Verteilungen von besonderem Interesse, da sie die Wahrscheinlichkeit für extreme Ereignisse beschreiben, die dazu führen können, daß ein Marktteilnehmer illiquide wird. Entsprechend kann ein Flugzeug in einer turbulenten Strömung extremen mechanischen Belastungen ausgesetzt sein, verursacht durch große Geschwindigkeitsdifferenzen auf der Längenskala des Flugzeugs. Mit der hier vorgestellten Methode ist es möglich, die Formänderung der Verteilungen im Kurzzeitbereich von weniger als zwei Tagen mit einem Parameter kontinuierlich zu beschreiben. Wir sehen darin auch einen Beitrag zur verbesserten Risikoabschätzung extremer Ereignisse.

Literatur

[1] *Olsen & Associates*: „Views From the Frontier: Commentary On The New World of Forecasting And Risk Management." Zürich, 1996.

[2] Siehe dazu z. B. *Ch. A. E. Goodhart* u. *M. O'Hara*: „High Frequency Data in Financial Markets: Issues and Applications." In: The First International Conference on High Frequency Data in Finance, Olsen & Associates, Zürich, 1995.

[3] *U. A. Müller* et al., J. Empirical Fin. (im Druck)

[4] *S. Turek*, Phys. Bl. **52**, 1137 (1996)

[5] *S. Großmann*, Phys. Bl. **46**, 2 (1990)

[6] *L. F. Richardson*, Proc. Roy. Soc. A **110**, 709 (1926)

[7] *S. Ghashghaie* et al., Nature **381**, 767 (1996).

[8] *A. M. Obukhov*, J. Fluid Mechanics **13**, 77 (1962); *A. N. Kolmogorov*, ibid, 82 (1962).

[9] *B. Chabaud* et al., Phys. Rev. Lett. **73**, 3227 (1994).