

# MPRA

Munich Personal RePEc Archive

## **The Halting Problem applied to Structural Breaks in Financial Time Series**

Czinkota, Thomas

2012

Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/40634/>  
MPRA Paper No. 40634, posted 13 Aug 2012 18:49 UTC

## Das Halteproblem bei Strukturbrüchen in Finanzmarktzeitreihen

Thomas Czinkota

März 2012

JEL: C10; C22

Schlagworte: Strukturbruch; Halteproblem; Portfoliomanagement; Zeitreihenanalyse

### Abstrakt

In Finanzmarktzeitreihen sind gerade in den letzten Jahren augenfällige Strukturbrüche zu beobachten. Dieser Sachverhalt ist für die Gestaltung von Portfolios von Relevanz, da die Veränderung der Verteilungsparameter die grundlegende Annahme der Portfoliotheorie ins Wanken bringt, dass es möglich sei, durch Diversifikation ohne Verlust an Rendite das Risiko zu minimieren.

Es gibt mathematische Verfahren zur nachträglichen Identifikation von Strukturbrüchen, die inzwischen so weit gediehen sind, dass sie auch in frei verfügbaren Programmsystemen bereitstehen (Zeileis et al. 2002). Diese Verfahren sind etabliert und wurden bereits in unterschiedlichen Szenarien erfolgreich angewandt. Eine für das Portfoliomanagement praktikable Übertragung dieser analytischen Vorgehensweise steht allerdings noch aus. Ein Grund hierfür scheint, dass die bisher erprobten Verfahren bei der Anwendung auf Finanzmarktzeitreihen aufgrund von deren Dynamik auch unbefriedigende bzw. widersprüchliche Ergebnisse ermittelt werden (Nguyen 2008). Dies erfordert vordergründig eine Verfeinerung oder Anpassung der bestehenden Methoden.

Im Gegensatz hierzu wird in diesem Artikel, anhand des, aus der theoretischen Informatik bekannten, Halteproblems argumentiert (z. B. Kindler und Manthey 2002), dass es alleine mit einer mathematischen Verbesserung der Methoden nicht getan ist. Rein formalen bzw.

mathematischen Methoden zur Identifikation von Strukturbrüchen kann es grundsätzlich nicht gelingen, die auftretenden Widersprüche in den empirischen Untersuchungen aufzulösen, da es sich bei Strukturbrüchen nicht um ein formales, sondern auch um ein *fachliches* Problem handelt. Um dieses Argument darzustellen, wird das Halteproblem ganz allgemein auf die Methoden der Strukturbruch-Erkennung angewendet.

Ein alternativer Lösungsweg ist aus diesem Grund die Einbettung einer Methode zur Erkennung von Strukturbrüchen in ein fachliches Modell. Die Entwicklung eines solchen Lösungsweges steht allerdings bisher noch aus.

## **Einleitung**

Die Bildung eines mathematisch optimierten Portfolios basiert wesentlich auf stabilen Erwartungswerten, Risiken und Kovarianzen, die i. d. R. aus historischen Kursreihen gewonnen werden. Stabile Parameter sind deshalb ein wesentliches Ergebnis der statistischen Analyse von Finanzmarktzeitreihen und wesentliche Voraussetzung für ein Portfoliomanagement. Andernfalls wäre die Aussagekraft der Ergebnisse schon alleine bedingt durch eine mangelhafte Datengrundlage, stark verzerrt oder beeinträchtigt.

Studien der letzten Jahre haben gezeigt, dass diese Grundvoraussetzung kaum aufrechtzuhalten ist (z. B. Ang und Bekaert 2002b, 2002a; Garcia und Perron 1996; Stock und Watson 1996). Innerhalb makroökonomischer Zeitreihen und Finanzmarktzeitreihen gibt es Sprünge in den beschreibenden Parametern – sog. Strukturbrüche.

Inzwischen existieren mehrere Methoden, um Zeitreihen hinsichtlich des Auftretens von Strukturbrüchen zu prüfen. Einen Überblick gibt Hansen (2001). Suchte man anfänglich lediglich einen einzelnen Strukturbruch in Zeitreihen, so stehen nun auch Verfahren zur Verfügung, um mehrere Strukturbrüche innerhalb einer bestehenden Zeitreihe zu

identifizieren (z. B. Kleiber und Zeileis 2004; Pesaran et al. 2004). Ein weiterer Entwicklungszweig betrachtet Zeitreihen als kontinuierliche Datenquelle und überprüft die ankommenden Daten kontinuierlich auf die Möglichkeit eines Strukturbruchs (z. B. Chu et al. 1996; Horváth et al. 2004).

Die Anwendung und Anwendbarkeit erstgenannter Entwicklungsrichtung wird an unterschiedlichen Zeitreihen wie z. B. den Daten des Nils (Cobb 1978), am Öl-Preis (Perron 1989) oder auch an der Zahl der Verkehrstoten demonstriert (Harvey und Durbin 1986). Bei diesen Beispielen lässt sich anhand eines vorab bekannten Ereignisses, wie z. B. dem Bau des Assuanstaudammes, einer Marktliberalisierung oder einer Gesetzesänderung, zeigen, dass diese Auswirkungen auf die untersuchte Zeitreihe besaß. Allerdings kritisieren z. B. Zivot und Andrews (1992) bereits die Studie von Perron (1989) am Öl-Preis-Beispiel dahin gehend, dass die Daten alleine keinen Schluss erlaube, genau das untersuchte Ereignis als ursächlich zu wählen.

Eine weitere Vorgehensweise besteht darin, zuerst in einer Zeitreihe mit den gegebenen Methoden einen oder mehrere Strukturbrüche zu suchen und in einem weiteren Schritt den Strukturbrüchen externe Auslöser zuzuordnen. Inzwischen existieren frei verfügbare Programmpakete um dieses Vorgehen zu stützen (Zeileis et al. 2002).

Während bei volkswirtschaftlichen Zeitreihen in der Regel historisch, mit großem zeitlichen Verzug, die Bestätigung oder Ablehnung eines Strukturbruchs im Vordergrund steht, sind Strukturbrüche im aktiven Portfoliomanagement lediglich ein Mittel zum Zweck der Verbesserung von Kennzahlen. So lässt sich z. B. zeigen, dass sich durch die Kenntnis eines Strukturbruchs und die sofortige Berücksichtigung dessen im Prognosealgorithmus für die Korrektheit der Richtungsprognose der Marktentwicklung für US-Aktien eine Steigerung der

Trefferquote von 61,6 % auf 65 % erzielen ließe (Pesaran und Timmermann 2002, 2004). Es ist naheliegend, dass eine präzisere Kenntnis der zukünftigen Marktentwicklung helfen kann, das Portfolio entsprechend auszurichten.

Es scheint eine Vielzahl von mathematischen/statistischen Ansätzen zu geben, Strukturbrüche auf die eine oder andere Art zu identifizieren. Unglücklicherweise stimmen die Ergebnisse dieser Ansätze nicht unbedingt überein, es gibt dokumentierte Fälle, in denen sie sich sogar widersprechen (Nguyen 2008). Auch Chu (1996) spricht an, dass die Methoden beim Monitoring von Finanzmarktzeitreihen unzutreffende Strukturbrüche anzeigen können.

Akzeptiert man die Relevanz von Strukturbrüchen für ein aktives Portfoliomanagement, ergibt sich daraus die Frage, welche Methode die *richtige* Methode zur Identifikation von Strukturbrüchen in Wertpapierzeitreihen ist.

Zur Beantwortung dieser Frage werden in diesem Beitrag nicht die einzelnen Ansätze auf ihre Vor- und Nachteile hin untersucht, sondern die Frage aus dem Blickwinkel der theoretischen Informatik heraus betrachtet: „Kann es *die* richtige Methode zur Identifikation von Strukturbrüchen geben?“

Der weitere Artikel ist wie folgt aufgebaut: Im nächsten Abschnitt werden Strukturbrüche knapp dargestellt und erläutert. Eine allzu formale Darstellung wird absichtlich vermieden, da dies für die angestrebte Beweisführung nicht notwendig ist.

Daran anschließend erfolgt im zweiten Abschnitt die Untersuchung der Fragestellung, angepasst auf den Bereich der Finanzmarktzeitreihen, um die Lesbarkeit zu erhöhen. Es handelt sich hierbei um eine Variation des Nachweises des klassischen Halteproblems aus der theoretischen Informatik.

Im dritten Abschnitt werden dann die Konsequenzen für den Nachweis von Strukturbrüchen diskutiert und die Ursachen nochmals verdeutlicht sowie eine Lösungsmöglichkeit skizziert.

Der letzte Abschnitt fasst die Überlegungen zusammen.

## Strukturbruch

Ein Strukturbruch liegt vor, wenn eine Zeitreihe vor einem bestimmten Zeitpunkt  $t$  von einem anderen datengenerierenden Prozess erzeugt wird als danach (vgl. Huber 2000, S. 45).

Als Approximation für den Daten generierenden Prozess wird i. d. R. die lineare Regression verwendet. Ein Strukturbruch ist definitionsgemäß dann aufgetreten, wenn sich die Parameter der linearen Regression plötzlich verändern.

Ein allgemeines Strukturbruchmodell wird in der Literatur auf Basis der linearen Regression dann wie folgt formuliert (z. B. Pesaran und Timmermann 2004).

$$y_t = x_{t-1}\beta_1 + u_t \quad t = 1, 2, 3 \dots, T_1 \quad u_t(0, \sigma_1)$$

$$y_t = x_{t-1}\beta_2 + u_t \quad t = T_1, \dots, T + 1 \quad u_t(0, \sigma_2)$$

Mit

$T_1$ : Bruchzeitpunkt

$y_t$ : abhängige Variable

$x_{t-1}$ :  $p \times 1$  Vektor der festgelegten Variablen

$\beta_i (i = 1, 2)$ :  $p \times 1$  Vektoren der Regressionskoeffizienten

$u_t$ : Störterm mit einer von  $x$  unabhängigen Verteilung, evtl. einer Veränderung der Varianz am Bruchzeitpunkt

Zur genauen Identifikation von Strukturbrüchen werden in der Literatur unterschiedliche Vorgehensweisen eingesetzt. Einer der bekanntesten Methoden ist der Einsatz einer F-Statistik (Andrews 1993; Andrews und Ploberger 1994; Chow 1960; Hansen 2001). Andere

Ansätze sind Markov-Switching-Modelle (Hamilton 1996), CUSUM (z. B. Nguyen 2008; Pesaran und Timmermann 2002) oder Generalized-Fluctuation-Tests (Kuan und Hornik 1995; Leisch et al. 2000). Kleiber und Zeileis (2004) vereinen mehrere dieser Modelle innerhalb eines gemeinsamen Rahmens und arbeiten spezifische Unterschiede und Gemeinsamkeiten heraus.

Wohl die bekanntesten Strukturbrüche in der jüngsten Vergangenheit in den Aktienmärkten sind der Zusammenbruch der Dotcom-Blase im Jahr 2000 oder die derzeitige Marktentwicklung.

## Das Halteproblem

Methoden zur Identifikation von Strukturbrüchen sind mathematische Methoden, die inzwischen auch als Computerprogramme implementiert sind (Zeileis et al. 2002). Mittels dieser Programme lässt sich innerhalb einer vorgegebenen Zeitreihe ein Strukturbruch identifizieren oder zeigen, dass kein Strukturbruch vorhanden ist. Teilweise ergeben unterschiedliche Methoden auch widersprüchliche Ergebnisse (Nguyen 2008). Nguyen untersuchte den Einfluss einer Marktliberalisierung auf die Volatilität des Aktienmarktes mit unterschiedlichen Methoden. Ziel war es, herauszufinden, ob die Liberalisierung eine Veränderung der Volatilität bedingt. Angewendet wurden sowohl eine CUSUM-Methode als auch die Methodik von Bai und Perron (1998). Bei mehreren Strukturbrüchen zeigte sich in der Untersuchung, dass jene beiden Methoden sich widersprechen können. Auch die eigenen Untersuchungen des Autors kamen zu vergleichbaren Ergebnissen.

Dies führt zu der Frage, was die Ursache für jenen Widerspruch sein könnte, da beide Vorgehensweisen für sich etablierte Verfahren sind.

In der theoretischen Informatik ist dieser Sachverhalt als Entscheidbarkeits- bzw. Halteproblem (z. B. Kindler und Manthey 2002, S. 126) bekannt und tritt dort in Form der Frage auf: „Gibt es einen Algorithmus, der zu einem beliebigen gegebenen Programmtext entscheidet, ob das entsprechende Programm bei bestimmten Eingabedaten anhält oder nicht?“

Die Antwort auf diese Frage lautet ‚Nein‘, mit in der Informatik weitreichenden Konsequenzen: So kann es u. a. kein allgemeines Programm geben, dass die Korrektheit von beliebigen Programmen nachweisen kann.

Im Kontext der Finanzmarkt-Zeitreihenanalyse würde die vergleichbare Frage lauten: „Gibt es das universelle Programm zur Identifikation von Strukturbrüchen?“ Ein universelles Programm soll in diesem Zusammenhang ein Verfahren oder eine Methode sein, welches bzw. welche für beliebige Zeitreihen eine verbindliche Aussage treffen kann, ob ein Strukturbruch enthalten ist. Zusätzlich soll diese Methode eine Berechnungsmethode sein, welche durch einen Computer ausführbar ist. Letztere Bedingung schließt rein charttechnische oder intuitive Verfahren, wie sie bei der Zeitreihenanalyse im Finanzsektor nicht unüblich sind, aus. Sie zeigt allerdings auch auf, dass die Strukturbruch-Erkennung kein rein mathematisches oder statistisches Problem ist, sondern auch als ein Problem aus der Informatik aufgefasst werden kann.

### *Nachweis mittels Reduktion*

Grundsätzlich lässt sich die Frage sehr zügig durch Reduktion auf das Halteproblem beantworten. Aus jedem Programm, das Strukturbrüche erkennen kann, lässt sich ein Programm mit folgendem Verhalten konstruieren: Wenn ein Strukturbruch erkannt wird, stoppt das Programm mit einer Ausgabe, wenn kein Strukturbruch erkannt wird, läuft das



Programm in eine Endlosschleife. Die klassische Frage lautet nun: „Gibt es ein Programm, welches für solche Programme entscheiden kann, ob sie für beliebige Eingaben anhalten oder nicht?“ Die Antwort darauf lautet ‚Nein‘.

### *Nachweis mittels Diagonalisierung*

Ein wenig ausführlicher, und für Nichtinformatiker nachvollziehbarer, lässt sich die Antwort durch Diagonalisierung zeigen.

Wir gehen davon aus, dass Kursreihen  $K$  zur Untersuchung zur Verfügung stehen. Diese Kursreihen  $K$  werden innerhalb des Computers in einer binären Form als eine lange Liste von Einsen und Nullen dargestellt. Diese Liste soll mit  $\langle K \rangle$  notiert werden.

Weiterhin gibt es Methoden, und daraus resultierende Programme, welche Strukturbrüche in diesen Kursreihen identifizieren können. Die Funktionalität dieser Strukturbruch erkennenden Programme (SEP) lässt sich wie folgt beschreiben: Ein SEP liest eine Kursreihe  $\langle K \rangle$  in binärer Form ein, verarbeitet diese und gibt als Ergebnis ein ‚Ja‘ oder ‚Nein‘ aus, je nachdem, ob sich lt. SEP innerhalb dieser Kursreihe ein Strukturbruch befindet oder nicht. Die korrekte Erkennung eines Strukturbruches ist nicht entscheidend für ein SEP, denn genau dieses gilt es mit einem weiteren Programm zu kontrollieren.

Das SEP liegt wie die Kursreihe innerhalb des Computers als eine binäre Folge von Einsen und Nullen vor. Diese Liste soll mit  $\langle \text{SEP} \rangle$  notiert werden.

Die korrekte Identifikation eines Strukturbruches durch ein SEP wurde bisher absichtlich ausgespart, denn nun soll es ein Programm geben, das universelle Strukturbruch-Erkennungsprogramm (USEP), welches genau diese Aufgabe erfüllen kann. Ein Anwendungsszenario für solch ein Programm wäre, den bei Nguyen (2008) erwähnten

Sachverhalt zu klären, wenn bei zwei unterschiedlichen SEPs das eine einen Strukturbruch anzeigt, das andere nicht.

Die grundsätzliche Arbeitsweise des USEP wäre außerdem, das zu kontrollierende <SEP> einzulesen, ebenso die zu untersuchende Kursreihe <K>, in einem weiteren Schritt das Programm SEP aufzurufen, mit der Kursreihe als Argument, und schließlich das Ergebnis des SEP auf Korrektheit zu prüfen. Auch das USEP hätte als Ergebnis ‚Ja‘ oder ‚Nein‘, je nachdem, ob das SEP korrekt gearbeitet hat oder nicht. Gibt es die universelle Methode, so ist solch ein USEP relativ einfach zu programmieren.

Die Frage lautet nun erneut: „Kann es dieses universelle Strukturbruch-Erkennungsprogramm geben, welches die Korrektheit anderer Strukturbruch-Erkennungsprogramme verifiziert?“

## Widerspruch

Zur weiteren Klärung der Frage soll nun ein Programm konstruiert werden, das beständig fehlerhafte Ausgaben produziert: das Trick-Erkennungsprogramm (TEP). Das gesuchte USEP, falls es überhaupt existiert, sollte bei diesem Programm in der Lage dazu sein, anzuzeigen, dass es nicht zutreffend funktioniert. Andererseits, falls es gelingt, ein SEP zu konstruieren, bei dem das USEP *grundsätzlich* nicht in der Lage ist, eine Entscheidung zu treffen, wäre dies der Beleg dafür, dass es kein USEP mit der gesuchten Funktionalität geben kann.

Ganz in ökonomischer Tradition (vgl. Grinold und Kahn 2000) wird also angenommen, dass es dieses USEP gibt.

Dann lässt sich auch folgendes TEP schreiben: Das TEP liest wie ein SEP eine binäre Folge <B> ein und ruft intern das USEP mit dem Parameter <B> als Programmcode für das SEP wie auch als Parameter für die Kursreihe auf.

Eine beliebige binäre Folge  $\langle B \rangle$  als Programm zu interpretieren, mag zugegeben häufig kein lauffähiges Programm ergeben, das das USEP verwenden könnte. Da allerdings von einem universellen SEP die Rede ist, genügt es, sich für die weitere Argumentation auf diejenigen binären Folgen zu beschränken, die lauffähige Programme darstellen und des Weiteren SEPs sind. Auch bei dieser beschränkten Menge von binären Folgen muss das USEP korrekt arbeiten, da es definitionsgemäß auf *allen* binären Folgen eine korrekte Entscheidung fällt.

Als ein weiterer entscheidender Schritt bei der Konstruktion des TEP erfolgt nun die Erzeugung offensichtlich falscher Ergebnisse. Nach dem internen Aufruf des USEPs vertauscht das TEP grundsätzlich das Ergebnis des USEPs. Antwortet das USEP mit ‚Ja‘, erzeugt das TEP ‚Nein‘ als Ausgabe, und umgekehrt.

Damit wäre die Funktionalität des TEP vollständig spezifiziert und ein Programm geschaffen, welches fehlerhaft ist, sodass ein USEP dieses als nicht korrekt Strukturbruch erkennend identifizieren muss.

Es ist leicht zu sehen, dass das TEP sich genauso wie ein SEP verhält, es liest eine Kursreihe ein und erzeugt ‚Ja‘ oder ‚Nein‘ als Ergebnis. Das USEP muss es also kontrollieren können. Es ist weiterhin angebracht, es mit einem USEP zu kontrollieren, da ein Anwender die Ergebnisse des TEP nicht von einem zutreffend arbeitenden SEP unterscheiden kann. So kann ohne Weiteres die Situation auftreten, dass innerhalb einer bestimmten Kursreihe ein Strukturbruch auftritt, ein zutreffend arbeitendes SEP einen Strukturbruch anzeigt und das TEP keinen Strukturbruch anzeigt. Zur Klärung dieser Frage wird nun das USEP herangezogen, welches entsprechend der Annahme existiert.

Geht man diese Situation tabellarisch an und listet alle SEPs sowohl horizontal als auch vertikal auf, so erhält man nachfolgende Darstellung. Horizontal seien die SEPs als Programm

verstanden, vertikal als binäre Eingabefolge stellvertretend für eine beliebige Kursreihe. Die Werte innerhalb der Tabelle kennzeichnen das Ergebnis des USEP, also die Antwort auf die Frage, ob das jeweilige SEP korrekt auf der Kursreihe gearbeitet hat.

Tabelle 1: Diagonalisierung

	<SEP <sub>1</sub> >	<SEP <sub>2</sub> >	<SEP <sub>3</sub> >	...	<TEP>	...	<SEP <sub>n</sub> >
<SEP <sub>1</sub> >	USEP(<SEP <sub>1</sub> >, <SEP <sub>1</sub> >)	USEP(<SEP <sub>2</sub> >, <SEP <sub>1</sub> >)	USEP(<SEP <sub>3</sub> >, <SEP <sub>1</sub> >)	...	$\overline{\text{USEP}(\langle \text{TEP} \rangle, \langle \text{SEP}_1 \rangle)}$		USEP(<SEP <sub>n</sub> >, <SEP <sub>1</sub> >)
<SEP <sub>2</sub> >	USEP(<SEP <sub>1</sub> >, <SEP <sub>2</sub> >)	USEP(<SEP <sub>2</sub> >, <SEP <sub>2</sub> >)	USEP(<SEP <sub>3</sub> >, <SEP <sub>2</sub> >)	...	$\overline{\text{USEP}(\langle \text{TEP} \rangle, \langle \text{SEP}_2 \rangle)}$		USEP(<SEP <sub>n</sub> >, <SEP <sub>2</sub> >)
<SEP <sub>3</sub> >	USEP(<SEP <sub>1</sub> >, <SEP <sub>3</sub> >)	USEP(<SEP <sub>2</sub> >, <SEP <sub>3</sub> >)	USEP(<SEP <sub>3</sub> >, <SEP <sub>3</sub> >)	...	$\overline{\text{USEP}(\langle \text{TEP} \rangle, \langle \text{SEP}_3 \rangle)}$		USEP(<SEP <sub>n</sub> >, <SEP <sub>3</sub> >)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
<TEP>	USEP(<SEP <sub>1</sub> >, <TEP>)	USEP(<SEP <sub>2</sub> >, <TEP>)	USEP(<SEP <sub>3</sub> >, <TEP>)	...	USEP(<TEP>, <TEP>) und $\overline{\text{USEP}(\langle \text{TEP} \rangle, \langle \text{TEP} \rangle)}$		USEP(<SEP <sub>n</sub> >, <TEP>)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
<SEP <sub>n</sub> >	USEP(<SEP <sub>1</sub> >, <SEP <sub>n</sub> >)	USEP(<SEP <sub>2</sub> >, <SEP <sub>n</sub> >)	USEP(<SEP <sub>3</sub> >, <SEP <sub>n</sub> >)	...	$\overline{\text{USEP}(\langle \text{TEP} \rangle, \langle \text{SEP}_n \rangle)}$	...	USEP(<SEP <sub>n</sub> >, <SEP <sub>n</sub> >)

Interessant wird es, wenn man das TEP betrachtet. Konstruktionsbedingt negiert es auf jeder Ebene das Ergebnis, welches bei dem entsprechenden SEP in der Diagonalen steht. Wenn das TEP auf sich selbst als Kursreihe trifft, entsteht ein Widerspruch:

In der Tabelle steht das Ergebnis des USEP, aufgerufen mit den Parametern (<TEP>, <TEP>).

Angenommen, das USEP erzeugt als Ergebnis ‚Ja‘, d. h., das USEP bestätigt, dass das Programm <TEP> auf der Kursreihe <TEP> korrekt gearbeitet hat. Dann ist

konstruktionsbedingt allerdings auch eindeutig, dass während der internen Abarbeitung des TEPs zuvor das USEP mit ‚Nein‘ geantwortet haben muss, da das TEP lediglich die Ergebnisse von USEP negiert. D. h., USEP hat zuvor angezeigt, dass TEP nicht korrekt arbeitet. Also

müsste das Ergebnis ‚Nein‘ lauten. Die äquivalente Situation tritt auf, wenn USEP anfänglich mit ‚Nein‘ geantwortet hätte.

Kurzum, das USEP ist *nicht* in der Lage, zu entscheiden, ob das TEP auf der Kursreihe <TEP> korrekt gearbeitet hat oder nicht. Es ist gelungen, für ein spezielles SEP eine spezielle Kursreihe zu nennen, für welche das USEP nicht in der Lage ist, zu sagen, ob der erkannte Strukturbruch korrekt ist oder nicht. Damit ist allerdings auch die anfänglich getroffene Annahme hinfällig, dass es ein USEP gäbe, welches in der Lage ist, die Korrektheit eines SEP auf einer beliebigen Kursreihe zu verifizieren.

Es kann also nicht *die* Methode zur Strukturbrucherkenkung geben, sondern nur *unterschiedliche* Methoden zur Identifikation *bestimmter* Strukturbrüche in *speziellen* Zeitreihen.

## Interpretation

Der hier aufgezeigte logische Beweis durch Widerspruch gehört zu den Klassikern der theoretischen Informatik und geht auf Alan Turing (2004) zurück. In der Informatik-Literatur wird dieser Sachverhalt unter den Bezeichnungen Turingproblem, Halteproblem, Unentscheidbarkeit oder auch Satz von Rice behandelt.

Letztendlich wird durch den vorgeführten Beweis, auch für Strukturbrüche, nur eine wohlbekannte, aber leider häufig vergessene Trivialität festgestellt. Die Entscheidung, ob ein Strukturbruch vorliegt oder nicht, ist auch eine *fachliche* Entscheidung. Bei der Untersuchung von Strukturbrüchen erfolgt diese fachliche Entscheidung implizit durch die Wahl des Modells und vor allem auch durch die Wahl der Parameter, welche das Modell bestimmen. Die Frage, ob es sich um einen Strukturbruch handelt, kann folglich nicht durch formale Modelle, Programme, Algorithmen oder Statistiken alleine gelöst werden, sondern

grundsätzlich nur durch die Einbindung in den jeweiligen Anwendungsfall und Anwendungskontext.

Aus dieser Perspektive heraus ist es also nicht weiter erstaunlich, dass Nguyen (2008) unterschiedliche Ergebnisse aufgrund unterschiedlicher Erkennungsmechanismen erhält, wenn er die gewählten Parameter der verwendeten Modelle nicht fachlich begründet und einbettet. Auch Bauwens (2011) kommt auf Basis empirischer Untersuchungen zu dem Ergebnis, dass er keine bestimmte Methode zur Untersuchung auf Strukturbrüche als die ‚beste‘ empfehlen kann.

Andererseits sind die Ergebnisse von Pesaran und Timmermann (2004) zu relativieren, bedenkt man, dass durch die entsprechende Wahl von Parametern, wie z. B. das Signifikanzniveau, fast jeder Hypothesentest signifikant gemacht werden kann und somit der Beitrag eines erkannten Strukturbruches zur Steigerung der Prognosegenauigkeit, ohne genauere fachliche Beschreibung, welche Parameter warum gewählt wurden, zu überdenken ist. Auch wird in dem Artikel mit dem Verweis auf ‚geübte Praxis‘ die Anzahl der zur Strukturbruchererkennung verwendeten Kurse auf 60 bzw. auf 100 beschränkt (Pesaran und Timmermann 2004, S. 10), ohne eine wirkliche Begründung dafür zu liefern. Eine Veränderung dieser Größe auf 10.000 oder auf 5 hätte durchaus zu anderen Ergebnissen führen können.

Die Auswirkungen des Halteproblems sind allerdings noch weitreichender: Wenn es sich nicht verbindlich klären lässt, ob ein Strukturbruch vorliegt oder nicht, so lässt sich auf dieser Basis auch nicht klären, was ein Strukturbruch nun konkret für den Portfoliomanager und dessen Arbeit bedeutet.

Ein Strukturbruch im Markt alleine ist für strategische Asset-Allokation irrelevant, da es sich um ein systematisches Risiko handelt. Für die taktische Asset-Allokation mag ein Strukturbruch relevant sein, allerdings stellt sich hierbei die übliche Frage nach Aufwand und Nutzen, welche durch den Strukturbruch schwerlich zu beantworten ist. Strukturbrüche im Rahmen eines Benchmarktimings zu verwenden, scheitert i. d. R. am notwendigen Nachlauf von ca. 30 Tagen zur Erkennung des Strukturbruches (Huber 2000, S. 47).

Sucht man folglich die Konsequenzen bzw. die Bedeutung von Strukturbrüchen in der Anwendung, so verschiebt der erläuterte Sachverhalt den Fokus der Untersuchung fort von den rein formalen Modellen, hin zum fachlichen Kontext als Grundlage, aus dem heraus die Wahl des Modells und seiner Parameter zu begründen sind.

## **Zusammenfassung und Fazit**

Strukturbrüche in ökonometrischen Zeitreihen sind eine in der Praxis beobachtete und in der Literatur inzwischen akzeptierte Erscheinung. Strukturbrüche können durch ihr Auftreten die Entscheidung hinsichtlich der Ausgestaltung eines Wertpapier-Portfolios beeinflussen.

Es gibt eine Reihe von mathematischen Verfahren zur Identifikation von Strukturbrüchen, die inzwischen so weit gediehen sind, dass sie auch in frei verfügbaren Programmsystemen bereitstehen. Diese Verfahren sind etabliert und wurden bereits in unterschiedlichen Szenarien erfolgreich verwendet, können allerdings auch zu widersprüchlichen Ergebnissen führen.

In diesem Beitrag wurde mittels des aus der theoretischen Informatik bekannten Halteproblems gezeigt, dass es kein allgemeingültiges, d. h., kein einzelnes richtiges Programm, zur Erkennung von Strukturbrüchen geben kann. Bemühungen in dieser Hinsicht sind grundsätzlich zum Scheitern verurteilt. Vielmehr ist es notwendig, entsprechend den

fachlichen Erfordernissen einen angepassten Ansatz zu wählen. Das beinhaltet auch, die gewählten Parameter fachlich zu begründen. Ist tatsächlich im Rahmen eines Investmentansatzes beabsichtigt, Strukturbrüche zur Gestaltung eines Portfolios einzusetzen, so ist folglich genau zu spezifizieren, welche Strukturbrüche und warum genau diese erkannt werden sollen. Nur auf dieser Basis ist es möglich, einen Strukturbruch zu interpretieren und konkrete Handlungen für ein Portfoliomanagement daraus abzuleiten.

### Literaturverzeichnis

Andrews, D. W. K. (1993): Tests for parameter instability and structural change with unknown change point. In: *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, S. 821–856. Online verfügbar unter <http://www.jstor.org/pss/2951764>.

Andrews, D. W. K.; Ploberger, W. (1994): Optimal tests when a nuisance parameter is present only under the alternative. In: *Econometrica* 62 (6), S. 1383–1414. Online verfügbar unter <http://cowles.econ.yale.edu/P/cp/p08b/p0879.pdf>.

Ang, A.; Bekaert, G. (2002a): International asset allocation with regime shifts. In: *Review of Financial Studies* 15 (4), S. 1137.

Ang, A.; Bekaert, G. (2002b): Regime switches in interest rates. In: *Journal of Business and Economic Statistics* 20 (2), S. 163–182. Online verfügbar unter <http://pubs.amstat.org/doi/abs/10.1198/073500102317351930>.

Bai, J.; Perron, P. (1998): Estimating and Testing Linear Models with multiple structural changes. In: *Econometrica* 66:1, 1998, S. 47–78.

Bauwens, L.; Koop, G.; Korobilis, D.; Rombouts, J. (2011): The Contribution of Structural Break Models to Forecasting Macroeconomic Series.

Chow, G. C. (1960): Tests of equality between sets of coefficients in two linear regressions. In: *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, S. 591–605.

Chu, C. S.J.; Stinchcombe, M.; White, H. (1996): Monitoring structural change. In: *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, S. 1045–1065.

Cobb, G. W. (1978): The problem of the Nile: conditional solution to a changepoint problem. In: *Biometrika* 65 (2), S. 243–251.

Garcia, R.; Perron, P. (1996): An analysis of the real interest rate under regime shifts. In: *The Review of Economics and Statistics* 78 (1), S. 111–125.

Grinold, R. C.; Kahn, R. N. (2000): Active portfolio management. A quantitative approach for providing superior returns and controlling risk. 2nd ed. New York: McGraw-Hill Companies.



- Hamilton, J. D. (1996): Specification testing in Markov-switching time-series models. In: *Journal of Econometrics* 70 (1), S. 127–157.
- Hansen, B. E. (2001): The new econometrics of structural change: Dating breaks in US labor productivity. In: *The Journal of Economic Perspectives* 15 (4), S. 117–128.
- Harvey, A. C.; Durbin, J. (1986): The effects of seat belt legislation on British road casualties: A case study in structural time series modelling. In: *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)* 149 (3), S. 187–227.
- Horváth, L.; Huková, M.; Kokoszka, P.; Steinebach, J. (2004): Monitoring changes in linear models. In: *Journal of Statistical Planning and Inference* 126 (1), S. 225–251.
- Huber, C. (2000): Wendepunkte in Finanzmärkten. Prognose und Asset Allocation. Bad Soden/Ts: Uhlenbruch. Online verfügbar unter <http://www.worldcat.org/oclc/48457219>.
- Kindler, Ekkart; Manthey, Steffen (2002): Automaten, Formale Sprachen und Berechenbarkeit I. Online verfügbar unter <http://www2.cs.uni-paderborn.de/cs/kindler/Lehre/Skripte/Automaten.pdf>.
- Kleiber, C.; Zeileis, A. (2004): Validating multiple structural change models: A case study. In: *Technical Report / Universität Dortmund, SFB 475 Komplexitätsreduktion in Multivariaten Datenstrukturen 2004,34*. Online verfügbar unter <http://hdl.handle.net/10419/22546>.
- Kuan, C. M.; Hornik, K. (1995): The generalized fluctuation test: A unifying view. In: *Econometric Reviews* 14 (2), S. 135–161.
- Leisch, F.; Hornik, K.; Kuan, C. M. (2000): Monitoring structural changes with the generalized fluctuation test. In: *Econometric Theory* 16 (06), S. 835–854.
- Nguyen, D. (2008): An empirical analysis of structural changes in emerging market volatility. In: *Economics Bulletin* 6 (10), S. 1–10.
- Perron, P. (1989): The great crash, the oil price shock, and the unit root hypothesis. In: *Econometrica* 57 (6), S. 1361–1401.
- Pesaran, M. H.; Timmermann, A. (2002): Market timing and return prediction under model instability. In: *Journal of Empirical Finance* 9 (5), S. 495–510.
- Pesaran, M. H.; Timmermann, A. (2004): How costly is it to ignore breaks when forecasting the direction of a time series? In: *International Journal of Forecasting* 20 (3), S. 411–425. Online verfügbar unter [citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.15.5376&rep=rep1&type=pdf](http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.15.5376&rep=rep1&type=pdf).
- Pesaran, M. H.; Pettenuzzo, D.; Timmermann, Allan (2004): Forecasting Time Series Subject to Multiple Structural Breaks.
- Stock, J. H.; Watson, M. W. (1996): Evidence on structural instability in macroeconomic time series relations. In: *Journal of Business & Economic Statistics* 14 (1), S. 11–30.
- Turing, A. (2004): On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem, 1936. In: *The essential Turing: seminal writings in computing, logic, philosophy, artificial intelligence, and artificial life, plus the secrets of Enigma*, S. 58.
- Zeileis, A.; Leisch, F.; Hornik, K.; Kleiber, C. (2002): strucchange: An R package for testing for structural change in linear regression models. In: *Journal of Statistical Software* 7 (2), S. 1–38. Online verfügbar unter <http://www.jstatsoft.org/v07/i02/paper>.

Zivot, E.; Andrews, D. W. K. (1992): Further evidence on the great crash, the oil-price shock, and the unit-root hypothesis. In: *Journal of Business & Economic Statistics* 10 (3), S. 251–270.

## Literaturverzeichnis

- Andrews, D. W. K. (1993): Tests for parameter instability and structural change with unknown change point. In: *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, S. 821–856. Online verfügbar unter <http://www.jstor.org/pss/2951764>.
- Andrews, D. W. K.; Ploberger, W. (1994): Optimal tests when a nuisance parameter is present only under the alternative. In: *Econometrica* 62 (6), S. 1383–1414. Online verfügbar unter <http://cowles.econ.yale.edu/P/cp/p08b/p0879.pdf>.
- Ang, A.; Bekaert, G. (2002a): International asset allocation with regime shifts. In: *Review of Financial Studies* 15 (4), S. 1137.
- Ang, A.; Bekaert, G. (2002b): Regime switches in interest rates. In: *Journal of Business and Economic Statistics* 20 (2), S. 163–182. Online verfügbar unter <http://pubs.amstat.org/doi/abs/10.1198/073500102317351930>.
- Bai, J.; Perron, P. (1998): Estimating and Testing Linear Models with multiple structural changes. In: *Econometrica* 66:1, 1998, S. 47–78.
- Bauwens, L.; Koop, G.; Korobilis, D.; Rombouts, J. (2011): The Contribution of Structural Break Models to Forecasting Macroeconomic Series.
- Chow, G. C. (1960): Tests of equality between sets of coefficients in two linear regressions. In: *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, S. 591–605.
- Chu, C. S.J.; Stinchcombe, M.; White, H. (1996): Monitoring structural change. In: *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, S. 1045–1065.
- Cobb, G. W. (1978): The problem of the Nile: conditional solution to a changepoint problem. In: *Biometrika* 65 (2), S. 243–251.
- Garcia, R.; Perron, P. (1996): An analysis of the real interest rate under regime shifts. In: *The Review of Economics and Statistics* 78 (1), S. 111–125.
- Grinold, R. C.; Kahn, R. N. (2000): Active portfolio management. A quantitative approach for providing superior returns and controlling risk. 2nd ed. New York: McGraw-Hill Companies.
- Hamilton, J. D. (1996): Specification testing in Markov-switching time-series models. In: *Journal of Econometrics* 70 (1), S. 127–157.
- Hansen, B. E. (2001): The new econometrics of structural change: Dating breaks in US labor productivity. In: *The Journal of Economic Perspectives* 15 (4), S. 117–128.
- Harvey, A. C.; Durbin, J. (1986): The effects of seat belt legislation on British road casualties: A case study in structural time series modelling. In: *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)* 149 (3), S. 187–227.
- Horváth, L.; Huková, M.; Kokoszka, P.; Steinebach, J. (2004): Monitoring changes in linear models. In: *Journal of Statistical Planning and Inference* 126 (1), S. 225–251.
- Huber, C. (2000): Wendepunkte in Finanzmärkten. Prognose und Asset Allocation. Bad Soden/Ts: Uhlenbruch. Online verfügbar unter <http://www.worldcat.org/oclc/48457219>.
- Kindler, Ekkart; Manthey, Steffen (2002): Automaten, Formale Sprachen und Berechenbarkeit I. Online verfügbar unter <http://www2.cs.uni-paderborn.de/cs/kindler/Lehre/Skripte/Automaten.pdf>.

- Kleiber, C.; Zeileis, A. (2004): Validating multiple structural change models: A case study. In: *Technical Report / Universität Dortmund, SFB 475 Komplexitätsreduktion in Multivariaten Datenstrukturen 2004,34*. Online verfügbar unter <http://hdl.handle.net/10419/22546>.
- Kuan, C. M.; Hornik, K. (1995): The generalized fluctuation test: A unifying view. In: *Econometric Reviews* 14 (2), S. 135–161.
- Leisch, F.; Hornik, K.; Kuan, C. M. (2000): Monitoring structural changes with the generalized fluctuation test. In: *Econometric Theory* 16 (06), S. 835–854.
- Nguyen, D. (2008): An empirical analysis of structural changes in emerging market volatility. In: *Economics Bulletin* 6 (10), S. 1–10.
- Perron, P. (1989): The great crash, the oil price shock, and the unit root hypothesis. In: *Econometrica* 57 (6), S. 1361–1401.
- Pesaran, M. H.; Timmermann, A. (2002): Market timing and return prediction under model instability. In: *Journal of Empirical Finance* 9 (5), S. 495–510.
- Pesaran, M. H.; Timmermann, A. (2004): How costly is it to ignore breaks when forecasting the direction of a time series? In: *International Journal of Forecasting* 20 (3), S. 411–425. Online verfügbar unter [citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.15.5376&rep=rep1&type=pdf](http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.15.5376&rep=rep1&type=pdf).
- Pesaran, M. H.; Pettenuzzo, D.; Timmermann, Allan (2004): Forecasting Time Series Subject to Multiple Structural Breaks.
- Stock, J. H.; Watson, M. W. (1996): Evidence on structural instability in macroeconomic time series relations. In: *Journal of Business & Economic Statistics* 14 (1), S. 11–30.
- Turing, A. (2004): On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem, 1936. In: *The essential Turing: seminal writings in computing, logic, philosophy, artificial intelligence, and artificial life, plus the secrets of Enigma*, S. 58.
- Zeileis, A.; Leisch, F.; Hornik, K.; Kleiber, C. (2002): strucchange: An R package for testing for structural change in linear regression models. In: *Journal of Statistical Software* 7 (2), S. 1–38. Online verfügbar unter <http://www.jstatsoft.org/v07/i02/paper>.
- Zivot, E.; Andrews, D. W. K. (1992): Further evidence on the great crash, the oil-price shock, and the unit-root hypothesis. In: *Journal of Business & Economic Statistics* 10 (3), S. 251–270.