

Die Komplexitätshypothese der Karriereforschung

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften
Doctorum rerum politicarum
(Dr. rer. pol.)

an der
Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Fakultät der
Technischen Universität Dortmund

vorgelegt von

Guido Strunk

aus

Dorsten

Dortmund, den 23.01.2008

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Wolfgang B. Schünemann

Erstgutachter: Univ.-Prof. Dr. Andreas Liening

Zweitgutachter: a.o. Univ.-Prof. Dr. Johannes Steyrer

6.1 Wie man Komplexität nur ungenügend erfassen kann

Die nachfolgende Tabelle 16 gibt einen knappen Überblick über verschiedene Definitionen von Komplexität aus der Perspektive der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme. Obwohl sich die dort skizzierten Modellvorstellungen in verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen mit Erfolg integrieren lassen (neben der Anwendung in den Naturwissenschaften vgl. für die Klinische Psychologie,⁶⁷² neuere Hirnforschung,⁶⁷³ Soziologie,⁶⁷⁴ Organisationstheorie,⁶⁷⁵ Ökonomie⁶⁷⁶ etc.) stellt sich doch auch die Frage, wie gut die Ansätze in die theoretische Tradition der Karriereforschung passen, und ob die angebotenen Komplexitäts-Definitionen sich inhaltlich sauber in Grundvorstellungen einer Karrieretheorie integrieren lassen.⁶⁷⁷

Die verschiedenen in der Tabelle 16 genannten Ansätze machen es sich (mit Ausnahme der klassischen Informationstheorie) zum Ziel, die Komplexität einer Dynamik zu quantifizieren. Im Zentrum der Definitionen steht damit der spezifische Prozess bzw. die spezifische Abfolge von Ereignissen.

⁶⁷² Tschacher W, et al. (Hrsg) (1992): *Self-Organization and Clinical Psychology. Empirical Approaches to Synergetics in Psychology*. Springer, Berlin.

Schiepek G, et al. (1997): *Psychotherapy as a Chaotic Process. Part I: Coding the Client-Therapist Interaction by Means of Sequential Plan Analysis and the Search for Chaos: A Stationary Approach*. *Psychotherapy Research (International Journal of the Society for Psychotherapy Research, SPR)*, 7 (2), S. 173-194.

⁶⁷³ Freeman WJ & DiPrisco V (1986): *EEG Spatial Pattern Differences with Discriminated Odors Manifest Chaotic and Limit Cycle Attractors in Olfactory Bulb of Rabbits*. In: Palm G & Aertsen A (Hrsg) *Brain Theory*. Springer, Berlin, S. 97-119.

Freeman WJ (2000): *A Proposed Name for Aperiodic Brain Activity: Stochastic Chaos*. *Neural Networks*, 13, S. 11-13.

⁶⁷⁴ Weidlich W & Haag G (1983): *Concepts and Models of a Quantitative Sociology*. Springer, Berlin.

⁶⁷⁵ Thiétart RA & Forgues B (1995): *Chaos Theory and Organization*. *Organization Science*, 6 (1), S. 19-31.

Dooley KJ (1997): *A Complex Adaptive System Model of Organizational Change*. *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences*, 1 (1), S. 69-97.

Morel & Ramanujam: *Through the Looking Glass of Complexity: The Dynamics of Organizations as Adaptive and Evolving Systems*.

⁶⁷⁶ DeCoster & Mitchell: *Nonlinear Monetary Dynamics*.

DeCoster, et al.: *Evidence of Chaos in Commodity Futures Prices*.

⁶⁷⁷ Kritisch dazu z. B. Baruch: *Developing Career Theory Based on "New Science": A Futile Exercise? The Devill's Advocate Comentary*.

Verfahren	Komplexitäts-Definition	Mögliche Übertragung	Gefordertes Datenniveau
Informations-Theorie (Shannon 1948)	Wie viele unterschiedliche Elemente sind in einem Datensatz enthalten? Wie stark weicht die Verteilung der Elemente von einer zufälligen Gleichverteilung ab. Bemessen wird der Möglichkeitsraum. Die konkrete Dynamik wird nicht berücksichtigt Gemessen wird der Informationsgehalt in Bit.	Anzahl und Verteilung von Karriere-Stationen, -Positionen.	Nominal N sollte so groß sein, dass sinnvoller Weise Häufigkeitsverteilungen berechnet werden können.
Symbol Dynamics (Hadamard 1898, Morse 1921, Morse & Hedlund 1938, Collet & Eckmann 1980)	Wie viele unterschiedliche Abfolgen von Elementen sind in einem Datensatz enthalten? Wie stark weicht die Verteilung der Elemente von einer zufälligen Gleichverteilung ab. Gemessen wird der Informationsgehalt in Bit.	Anzahl und Verteilung von konkreten Karriere-Mustern.	Je nach konkreter Definition unterschiedlich aber ab Nominal möglich. N sollte so groß sein, dass sinnvoller Weise Häufigkeitsverteilungen von Abfolgen berechnet werden können.
Algorithmische Entropie (Kolmogorov 1965, Zvonkin & Levin 1970, Chaitin 1974, Jimeénez-Montano 1984, Rapp et al. 1991)	Gibt es eine Möglichkeit Muster in den Abfolgen von Elementen zu identifizieren, die auf einen einfachen Algorithmus hinter der Abfolge schließen lassen? Gemessen wird der Informationsgehalt des Algorithmus in Bit.	Eine Karriere, die einem erkennbaren Muster folgt lässt sich durch die Logik des Musters als weniger komplex beschreiben als eine Karriere, die keinem Muster folgt. (vgl. Strunk, Schiffinger & Mayrhofer 2003, Strunk, Mayrhofer & Schiffinger 2004, Strunk, Schiffinger & Mayrhofer 2004, Strunk 2005)	Nominal Ein Muster kann bereits in einer Abfolge von N = 10 Datenpunkten identifiziert werden.
Strange Attractors Fraktale Geometrie (Ruelle & Takens 1971, Grassberger & Procaccia 1983a, 1983b, Mandelbrot 1987)	Wie viele Freiheitsgrade besitzt das System? Wie viele Dimensionen/Faktoren werden in einem mathematischen Gleichungssystem mindestens benötigt um den gemessenen Prozess zu rekonstruieren? Bemessen wird der Möglichkeitsraum. Die konkrete Dynamik wird nicht berücksichtigt Gemessen wird die fraktale Dimensionalität, die auch nicht ganzzahlige Werte annehmen kann.	Karriere-Trajektorien können als mehrdimensionale Bewegungen in der Zeit verstanden werden. Wie viel Freiheitsgrade stehen zur Verfügung? Wie viele unterschiedliche Faktoren spielen beim Zustandekommen der Trajektorien eine Rolle? (vgl. Strunk, Schiffinger & Mayrhofer 2003, Strunk, Mayrhofer & Schiffinger 2004, Strunk, Schiffinger & Mayrhofer 2004, Strunk 2005)	Metrisch Mehr als 1.000 Datenpunkte werden benötigt.
Lyapunov Exponenten Schmetterlingseffekt (Wolf et al. 1985, Rosenstein, Collins & De Luca 1993)	Wie schnell bewegen sich nahe Systemzustände im Verlauf der Zeit auseinander? Gemessen wird in Bit pro Zeiteinheit.	Wie unterschiedlich entwickeln sich Karrieren auf der Grundlage von nahezu identischen Ausgangsbedingungen?.	Metrisch Mehr als 500 Datenpunkte werden benötigt.
Kolmogorov-Sinai-Entropie (z.B. Tsotis 1992, Frank et al. 1993)	Wie viel Information besitzt man über den weiteren Verlauf der Systemdynamik?	Lässt sich aus dem bisherigen Karriereverlauf einer Person eine Prognose für den weiteren Verlauf abgeben? Gelingt diese Prognose, so handelt es sich um eine „ordentliche Karriere“ (<i>Orderly Career</i>). Liegt die Prognose mehr oder weniger daneben, so ist die Quantifizierung dieses Mehr oder Weniger ein Maß für die Komplexität der Karriere.	Metrisch Mehr als 1.000 Datenpunkte werden benötigt.
Permutations-Entropie (Bandt & Pompe 2002)	Das Verfahren ist eine Mischung aus dem Symbol Dynamics Ansatz und der KS-Entropie. Die Komplexität einer Karriere wird mit Hilfe der Permutationsentropie über die Häufigkeitsverteilung von Abfolgenmustern der definiert.	Die Operationalisierung führt dazu, dass das Auftreten immer nur eines <i>Career Pattern</i> als maximale Ordnung erscheint. Umgekehrt kann durch das Vorliegen einer Gleichverteilung der möglichen <i>Career Pattern</i> maximale Komplexität (Zufallsabfolgen ohne bevorzugtes Muster) identifiziert werden.	Ordinal N sollte so groß sein, dass sinnvoller Weise Häufigkeitsverteilungen von Abfolgen berechnet werden können.
Recurrence Plots (Zbilut & Webber Jr. 1992, Webber Jr. & Zbilut 1994, Marwan 2003, 2006)	In einem Datensatz ist die Ordnung dann besonders groß, wenn sich über lange Zeiträume hinweg die gleichen Prozesse wiederholen. Diese Definition von Ordnung ist unabhängig von der tatsächlichen Dynamik.	In welchem Ausmaß können in Karrieren sich wiederholende Muster identifiziert werden?	Metrisch Mehr als 50 Datenpunkte werden benötigt.

Tabelle 16: Definitionen von Komplexität aus der Perspektive der Theorien Nichtlinearer Systeme

Die Tabelle gibt einen knappen Überblick über mögliche Ansätze zur Definition von Komplexität.

6.1.1 Grundproblem

Anders als klassische statistische Maße z. B. der zentralen Tendenz (Mittelwert, Median, Modalwert) oder Dispersionsmaße (Streuung, Varianz) spielt die konkrete Dynamik, also z. B. die Reihenfolge, mit der die betrachteten Ereignisse in der Zeit auftreten, eine wichtige Rolle für die Definition von dynamischer Komplexität.

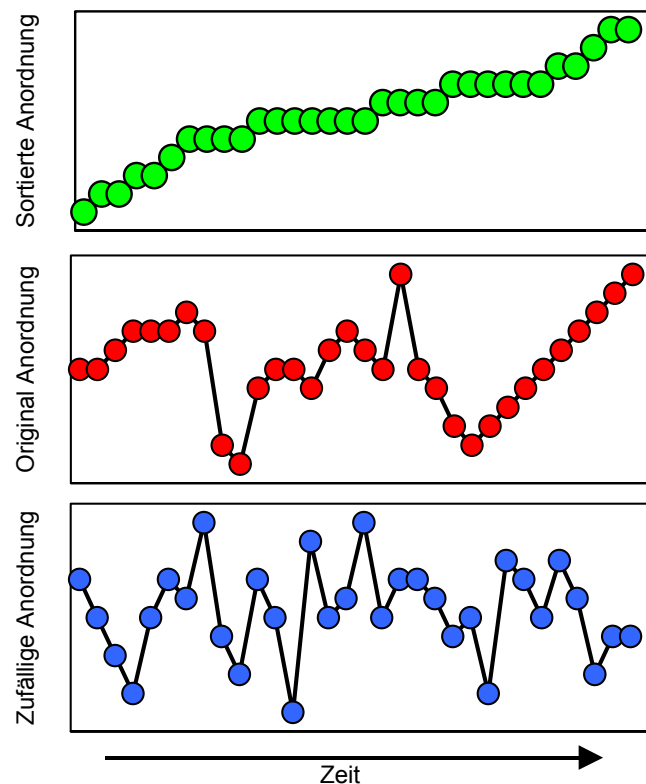


Abbildung 36: Ordnung, Struktur und Zufall – Vergleich der Prozessgestalt

Alle Abbildungen sind aus den gleichen Messwerten konstruiert. Die Daten stammen von einem Probanden des *Vienna Career Panel Projects (ViCaPP)*. Erhoben wurde die jährliche „Zufriedenheit mit der beruflichen Entwicklung“ seit den 1970er Jahren. Sie wurden für die obere Abbildung sortiert. Ein solcher Karriereverlauf wäre, läge er tatsächlich vor, sehr aufgeräumt und wenig komplex. Die Originaldaten (Mitte) erscheinen weitaus komplexer, aber bereits per Augenschein als geordneter als der Verlauf in der zufälligen Anordnung (unten).⁶⁷⁸

Die vorstehende Abbildung 36 mag verdeutlichen, was damit gemeint ist. Sie zeigt beispielhaft drei Karriereverläufe (zwei davon sind künstlich erzeugt), die

⁶⁷⁸ Abbildung aus: Strunk: *Karrieren zwischen Chaos und Ordnung*, S. 269.

augenscheinlich unterschiedlich komplex erscheinen. Die klassischen statistischen Kennwerte für die drei Prozesse sind jedoch jeweils vollkommen identisch, da die Abbildungen aus exakt den gleichen Daten erzeugt wurden.

Komplexität bezieht sich auf die Anordnung der Daten

Die unterschiedliche Komplexität der in Abbildung 36 dargestellten Prozesse beruht auf der unterschiedlichen Anordnung der Daten. Und genau diese jeweils unterschiedlichen Anordnungen sind es, an denen man mehr oder weniger komplexe Karrieren – oder allgemeiner gesprochen: Prozesse – unterscheiden kann. Die Dynamik der oberen Abbildung 36 gleicht einem klaren und weitgehend vorher-sagbaren Weg, bei dem die Werte immer nur zunehmen und keine Überraschungen das Muster unterbrechen. Das Auf und Ab der mittleren Darstellung in Abbildung 36 zeugt von weit mehr Ungewissheit und ungeplanten Entwicklungen, zeigt aber dennoch immer wieder auftretende Entwicklungs-Trends. Diese Darstellung beruht auf realen Daten einer Person die um 1970 die Wirtschaftsuni-versität Wien mit einem wirtschaftswissenschaftlichen Abschluss verlassen hat. Die Person war gebeten worden die jährliche Entwicklung ihrer Karriere-Zu-friedenheit einzuschätzen. Die untere Darstellung der Abbildung 36 zeigt hinge-gen ein hochgradig erratisches Bild. Im Rahmen der dort wiedergegebenen Kar-riereentwicklung ist kaum mehr etwas planbar – Karriere wird hier zum Glückspiel.

Trotz offensichtlicher Unterschiede in der Komplexität schlägt sich dies nicht in unterschiedlichen Mittelwerten, Streuungen oder anderen bekannten statistischen Kennwerten nieder. Die hier beispielhaft präsentierten Daten sind für diese De-monstration künstlich erzeugt worden. Nur die mittlere Darstellung ist „echt“. Für die obere Darstellung wurden die Daten sortiert und für die untere randomisiert.

Die verschiedenen Zugänge zur Komplexität einer Dynamik, der in Tabelle 16 (S. 214) angeführten Verfahren, tragen den hier beispielhaft vorgetragenen Beobachtungen auf unterschiedliche Weise Rechnung. Einige Verfahren sind in der Lage Muster, und damit Ordnung bereits in nominalen Daten, also in der Abfolge unterschiedlicher Ereignisse zu identifizieren, andere erfordern Intervallskalenni-veau und zum Teil sehr viele Datenpunkte, um zu reliablen Schätzungen für die Komplexität zu kommen.

Bei der Darstellung der verschiedenen Verfahren und Zugänge zur Komplexität folgt die vorliegende Arbeit nicht in jedem Fall der Logik der Tabelle 16 (S. 214), die bereits als Zusammenfassung einiger wesentlicher Aspekte verstanden werden kann. In den folgenden Kapiteln muss aber zum Teil weiter ausgeholt werden, um die Verfahren adäquat diskutieren zu können. Dabei wird dann auch konkret auf die Definition von Komplexität durch den jeweiligen Ansatz einzugehen sein.

Denn – die Abbildung 36 zeigt zwar recht deutliche Unterschiede – wie diese aber aus der Alltagslogik herausgelöst und formalisiert werden können, bleibt derzeit noch offen. Die Problematik zeigt sich bereits, wenn man eine verbale Beschreibung versucht: Komplexität, so wie sie in der Abbildung deutlich wird, kann nur undeutlich mit Begriffen verbal umschrieben werden: Ordnung vs. Unordnung, logische vs. unlogische Abfolge, schwer beschreibbar vs. leicht beschreibbar, zufällig vs. sortiert. Wie lässt sich nun aber eine solche Umschreibung konkretisieren und methodisch formalisieren?

6.1.2 Grenzen der klassischen Informationstheorie

Die klassische Informationstheorie⁶⁷⁹ bietet relativ überschaubare und recht hilfreiche Werkzeuge, um eine erste Annäherung an die Frage nach der Komplexität einer Karriere oder anderer Prozesse zu erreichen. Obwohl es ihr nicht gelingt, das Problem in jedem Detail zu lösen, haben die Grundideen der Informationsdefinition doch eine weite Verbreitung gefunden und werden als Kernbaustein auch in vielen anderen – und zum Teil besserer ausgearbeiteten – Komplexitäts-Definitionen genutzt. Die Grundüberlegungen des Ansatzes und seine Grenzen sollen im Folgenden mit einigen anschaulichen Gedankenexperimenten dargestellt werden. Dabei soll nach und nach ein Verständnis für eine sinnvolle Definition von Komplexität herausgearbeitet werden. Die Darstellung geht also zunächst von einem sehr einfachen Beispiel aus.

Gedankenexperiment

Im Zentrum des Beispiels steht ein Bäckermeister, der seinen Beruf an den Nagel hängt, Wirtschaft studiert und später Leiter einer Marketingabteilung wird.⁶⁸⁰ Obwohl es unmittelbar evident sein dürfte, dass ein Wechsel vom Bäckerhandwerk zur Leitung einer Marketingabteilung ein größerer Sprung ist und eine solche Karriere als irgendwie ungewöhnlicher erscheint als eine, bei der es zu keiner professionsübergreifenden Veränderung kam (vgl. hierzu auch das Konzept der *Boundaryless Career*,⁶⁸¹ S. 71ff.), taugt diese Feststellung zu nicht viel mehr als zu der

⁶⁷⁹ Vgl. Shannon: *A Mathematical Theory of Communication*.

Shannon CE & Weaver W (1949): *Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Illinois.

⁶⁸⁰ Zum unstetigen Berufsleben von Bäckern vgl. Hillmert: *Karrieren und institutioneller Kontext. Fallstudien aus dem Bereich der Ausbildungsberufe*.

⁶⁸¹ Arthur: *The Boundaryless Career: A New Perspective for Organizational Inquiry*. DeFillippi & Arthur: *The Boundaryless Career: A Competency-Based Perspective*.

(Fortsetzung...)

Der Informationsgehalt der bereits genannten Beispiel-Karrieren kann über die Gleichung leicht mit 1,58 Bit bestimmt werden: In 15 Jahren finden sich drei Elemente ($s_1 = A$, $s_2 = B$, $s_3 = U$) jeweils fünf mal, sodass die Wahrscheinlichkeit $P(s_i)$ für jedes Element ein Drittel also 0,33 beträgt. Der Logarithmus zur Basis 2 ergibt daher für jedes $P(s_i)$ -1,60. Das Produkt der beiden Zahlen ($0,33 * -1,60 = -0,53$) wird für jedes Element bestimmt und aufaddiert. Hier ergibt sich drei Mal der gleiche Wert und damit insgesamt 1,58 Bit (das negative Endergebnis wird durch den Logarithmus von Zahlen kleiner der Basis des Logarithmus hervorgerufen und wird dann mit -1 multipliziert um zu positiven Werten zu gelangen).

Der Informationsgehalt ist das Ausmaß nicht redundanter Informationen

Anschaulich gesprochen, beschreibt die Gleichung den Informationsgehalt über das Ausmaß nicht redundanter Informationen in einer beliebigen Symbolfolge, sodass das Verfahren auch auf Texte, Kommunikationen jeder Art etc. angewendet werden kann. Wenn hier betont wird, dass das Ausmaß nicht redundanter Informationen erfasst wird, so ist damit gemeint – und auch leicht aus der Gleichung ersichtlich – dass das Ergebnis der Berechnung invariant gegenüber der Länge der betrachteten Sequenz ist. In die Gleichung geht die relative Häufigkeit der einzelnen Symbole ein, nicht aber deren absolute Anzahl. In diesem Sinne ist der Informationsgehalt der beiden folgenden Sequenzen gleich hoch:

- | | | |
|-----|-------------------------------|----------|
| (1) | B B B B B U U U U U A A A A A | 1,58 Bit |
| (2) | B U A | 1,58 Bit |

Dennoch ist das Maß sensitiv für Aspekte, die mit der Komplexität der Sequenz zu tun haben. Es reagiert nämlich stark auf Abweichungen der Werteverteilungen von einer Gleichverteilung. In der Logik der Informationstheorie ist eine Gleichverteilung einer gegebenen Anzahl von Symbolen maximal komplex, enthält also ein maximales Ausmaß an Information. Um zu verstehen, was damit gemeint ist, ist es sinnvoll erneut ein Beispiel zu betrachten.

- | | | |
|-----|-------------------------------------|----------|
| (3) | B U A A A A A A A A A A A A A A A A | 0,70 Bit |
|-----|-------------------------------------|----------|

In der hier dargestellten fiktiven Karriere ist die Zeit als Bäcker und die Berufsunterbrechung gegenüber der Zeit als Abteilungsleitung nur sehr kurz bemessen. Bereits per Augenschein erscheint die Sequenz aufgeräumter als die Folge (1). Der Anschein von Ordnung bliebe auch dann gewahrt, wenn die Sequenz (3) durcheinander gewürfelt würde. Die Reihenfolge der Elemente spielt für die Informationsdefinition keine Rolle (ein Aspekt, der zu einigen Problemen führt, siehe unten). Das Beispiel zeigt aber, dass die hier gegebene Häufigkeitsverteilung keine zufällige Anordnung zulässt, die wirklich komplex anmuten würde. Noch

klarer fällt dieser Effekt aus, wenn man sich vorstellt, dass in einhundert Mal A nur jeweils einmal B und U vorkommt (das ergäbe nur 0,16 Bit). Ein „wildes“ Durchmischen ist hier gar nicht möglich. Folglich kann die Symbolfolge nur geordnet sein. Die Chance, dass eine Gleichverteilung der Symbole „komplex“ ausfällt, ist viel größer und bei gegebener Symbolzahl maximal.⁶⁸³ Leider heißt das noch lange nicht, dass die Reihenfolge der Symbole dann tatsächlich und inhaltlich besehen auch komplexer ist. Allein die Wahrscheinlichkeit ist in der Gleichverteilung höher. Auch ein Würfel produziert eine Gleichverteilung der Augenzahlen und ist damit als Zufallsprozess mit maximalem Informationsgehalt gekennzeichnet.

Zufall ist immer mit maximaler Komplexität verbunden

Dieser Aspekt wird sich auch in anderen Komplexitätsmaßen zeigen: Zufall ist immer mit maximaler Komplexität verbunden. Diese kann im Konzept der Informationsdefinition sogar leicht als konkrete Größe angegeben werden. So können drei Symbole bei Gleichverteilung ja nur das bereits bekannte Ergebnis von 1,58 ergeben. Bei vielen anderen Verfahren ist nicht so leicht zu beziffern, wie hoch eine maximale Komplexität für einen gegebenen Datensatz denn nun genau ist. Für den Fall der Gleichverteilung lässt sich das Verfahren zudem leicht abkürzen. Die maximale Informationsdefinition ist sofort durch $\log_2(n)$ gegeben:

Gleichung 4:
Maximale Informationsdefinition

$$I_{\max} = \log_2 n$$

*I_{\max} bezeichnet den maximalen Informationsgehalt
n Anzahl der Kategorien*

Aber nicht nur die Gleichverteilung spielt eine Rolle sondern auch die Zahl der überhaupt in der Sequenz enthaltenen Symbole. Bei gleichverteilten vier Symbolen ergeben sich 2,00 Bit und bei sechs Symbolen 2,59 Bit. Und auch dieses Verhalten der Gleichung ist gut mit einer intuitiven Vorstellung von Komplexität in Einklang zu bringen: Wächst die Zahl der gleichverteilt vorkommenden Symbole, so wächst auch hier die Wahrscheinlichkeit für eine höhere Komplexität.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Informationsdefinition unter einem hohen Informationsgehalt eine Konstellation der Daten versteht, die gut einhergeht mit einer Alltagsvorstellung von Komplexität. Ein maximaler Informationsgehalt ist in Zufallsfolgen zu vermuten und zeigt sich in einem solchen Fall auch in den Ergebnissen der Gleichung. Das Maß ist sensibel für die Zahl der verschiedenen Elemente und die Abweichung der Häufigkeitsverteilung von einer

⁶⁸³ Ebd., S. 11.

Gleichverteilung. Mehr Symbole bedeuten mehr Komplexität und eine Gleichverteilung lässt an maximal komplexe Zufallsprozesse wie, z. B. den Wurf eines Würfels denken.

Trotz der durchaus plausiblen Herangehensweise ergeben sich aber auch klare Grenzen des Verfahrens. Bereits wenn sich die in der Sequenzfolge (1) dargestellte Beispielkarriere umkehren würde, träten erste Probleme auf: Wenn ein Abteilungsleiter eine Schulung macht und dann als Bäcker arbeitet, ist das ein viel *ungewöhnlicherer* Lebenslauf als umgekehrt. Tatsächlich wird mit dieser Umkehrung des Beispiels zweierlei angesprochen: Zunächst einmal gewinnt bei der Interpretation der gegebenen oder der umgekehrten Reihenfolge die Semantik der Symbolfolge an Bedeutung. Diese (subjektive) Wertung kann aber klarerweise nicht direkt in ein mathematisches Maß für die Komplexität der Symbolfolge einfließen.

The fundamental problem of communication is that of reproducing at one point either exactly or approximately a message selected at another point. Frequently the messages have meaning; that is they refer to or are correlated according to some system with certain physical or conceptual entities. These semantic aspects of communication are irrelevant to the engineering problem.⁶⁸⁴

Die Informationsdefinition beschreibt einen Möglichkeitsraum

Neben der Bewertung der Reihenfolge im Sinne einer Semantik kommt mit der Umkehrung der Zahlenfolge aber auch die Frage danach auf, ob nicht ganz allgemein besehen, die Reihenfolge der Symbolfolge bei der Bemessung der Komplexität eine Rolle spielen sollte. Aber auch dieser Aspekt findet in der Informationsdefinition keine Berücksichtigung. Das Konzept, so wie es von Shannon vorgeschlagen wird, interessiert sich nämlich weniger um die konkrete Ausformung einer Symbolfolge als vielmehr um die Freiheitsgrade, die einer Symbolfolge prinzipiell zur Verfügung stehen.⁶⁸⁵

Das grundsätzliche Interesse ist also zunächst ein ganz anderes, als es sich im Rahmen der Forschungsfrage der vorliegenden Arbeit stellt. Für die Informationstheorie ist es von großer Bedeutung zu wissen, wie hoch die Unsicherheit über die konkrete Ausformung einer Nachricht sein kann, bevor die Nachricht tatsächlich empfangen wurde. Um diese Unsicherheit beim Empfang einer Nachricht zu

⁶⁸⁴ Ebd., S. 1.

⁶⁸⁵ Vgl. ebd., S. 1, Brissaud J-B (2005): *The Meaning of Entropy*. *Entropy*, 7 (1), S. 68-96.

bezziffern, ist es erforderlich zu wissen, aus wie vielen verschiedenen Symbolen die Nachricht konstruiert sein könnte und ob es bereits Vorinformationen über die typische Häufigkeitsverteilung der Symbole gibt. Kann die Nachrichtenübertragung über viele Symbole erfolgen und gibt es keine Informationen über die Verteilung (muss also von einer Gleichverteilung ausgegangen werden), so ist die Unsicherheit besonders groß. Wenn aber im Gegenteil bekannt ist, dass die Nachricht nur aus zwei Symbolen bestehen wird und dass eines davon mit 95%iger Wahrscheinlichkeit zu erwarten ist, dann besteht nur wenig Unsicherheit über die zu erwartende konkrete Nachricht. Die Informationsdefinition ist entlang dieser Überlegungen konzipiert worden. Sie beschreibt also mehr die Möglichkeit eines Systems sich komplex zu verhalten, als dass sie in der Lage wäre, die konkrete Komplexität einer gegebenen Symbolfolge zu beziffern.

Dieser Unterschied zwischen der *Möglichkeit zur Komplexität* und der konkreten Ausformung wird auch sichtbar, wenn nun noch einmal auf die oben schon ange-deutete Definition von komplexen Karrieren über die Zahl der in ihnen stattgefundenen Transitionen eingegangen wird. Denn auch die Anzahl an Transitionen bei gleich bleibender Zahl der Elemente bringt – bei genauer Betrachtung – keine Verbesserung der Komplexitätsdefinition. Eine Karriere mit mehr Transitionen als eine andere Karriere könnte auch komplexer ausgefallen sein. Das ist aber nicht zwingend der Fall. Insbesondere dann, wenn eine Abfolge mit maximaler Anzahl an Transitionen mit einer Sequenz verglichen wird, die weitaus weniger Übergänge enthält, fällt auf, dass auch hier der fehlende Bezug auf die konkrete Reihenfolge der Elemente zu Problemen führt (hier verlässt das Beispiel jedoch den Boden der Glaubwürdigkeit, was aber für die Diskussion keine Rolle spielen soll):

- | | | |
|-----|-------------------------------|-----------------|
| (4) | B U A B U A B U A B U A B U A | 14 Transitionen |
| (5) | A B U B U A B B A B U A U A U | 13 Transitionen |
| (6) | B U U B U B U A U B A A A A B | 10 Transitionen |

Dass die Häufigkeitsverteilung erhobener Karrierestationen nur zum Teil zur Kennzeichnung der Komplexität beiträgt, sollte aus den hier angeführten Beispielen schnell deutlich werden. Alle Sequenzen weisen je fünf Mal A, B und U auf. Aus diesem Grund hilft hier auch das klassische Vorgehen über die Shannon'sche Informationsdefinition nicht weiter. Entgegen der bisher vertretenen Komplexitätsdefinition über die Informationsdefinition ergeben sich hier jeweils die gleichen bereits bekannten Ergebnisse von 1,58 Bit. Das liegt daran, dass sich die Zahl der verschiedenen Elemente und deren Häufigkeitsverteilung ja nicht verändert hat.

Dennoch ist die Zahl der Transitionen durchaus unterschiedlich aber für die Kennzeichnung der Komplexität ebenfalls nicht hilfreich: Die Abfolge mit den meisten Transitionen erscheint am weitaus geordnetsten. Die regelmäßige Wiederkehr der B-U-A-Tripel sorgt für Ordnung und reduziert die Komplexität gegenüber den Abfolgen mit zwar weniger Transitionen aber auch weniger Regelmäßigkeit.

Angesichts dieser Beispiele scheint es wenig sinnvoll die Komplexität von Karrieren aus der Anzahl von Transitionen pro Zeiteinheit zu bestimmen und auch die Grenzen der Informationsdefinition werden sichtbar. Es ist vielmehr die Regelmäßigkeit bzw. Regellosigkeit einer Abfolge, die als Maß für deren Komplexität erhalten kann; womit sich das Problem ergibt, zu bestimmen, welche der gegebenen Abfolgen regelmäßiger ist als eine andere oder wie ganz allgemein die Regelmäßigkeit einer Abfolge quantifiziert werden kann.

**Symbol Dynamics
und Algorithmische
Entropie**

Damit stellt sich die Frage, wie der Informationsbegriff um die Berücksichtigung der spezifischen dynamischen Ordnung der Zeichenabfolgen erweitert werden kann. Eine Möglichkeit besteht darin, die Berechnung der Wahrscheinlichkeiten nicht auf ein einzelnes Symbol zu beschränken, sondern auf die Abfolge von Symbolen, also auf Zeichenpaare, Dreier- oder Viererkombinationen zu erweitern. Ein solches Vorgehen wird ja auch ganz intuitiv gewählt, wenn es darum geht, die Komplexität der Abfolgen aus (4) und (6) zu vergleichen. Im Umfeld der Konzeption des *Symbol Dynamics* Ansatzes sind eine ganze Reihe von Verfahren vorgeschlagen worden, die in eine ähnliche Richtung gehen, um die Begrenzungen der klassischen Informationsdefinition zu überwinden.⁶⁸⁶ Auch die weiter unten dargestellte *Permutationsentropie* wählt einen ähnlichen Weg (vgl. S. 278ff.). Einen besonders eleganten Zugang bietet die *Theorie der Algorithmischen Entropie*, die ab Seite 227ff. ausführlicher dargestellt wird.

⁶⁸⁶ Für einen Überblick: Collet P & Eckmann JP (1980): *Iterated Maps on the Interval as Dynamical System*. Birkhäuser, Basel.

Literatur

- Arthur MB (1994) The Boundaryless Career: A New Perspective for Organizational Inquiry. *Journal of Organizational Behavior*, 15 (4), S. 295-306
- Arthur MB, Claman PH, DeFillippi RJ & Adams J (1995) Intelligent Enterprise, Intelligent Careers. *Academy of Management Executive*, 9 (4), S. 7-22
- Baruch Y (2002) Developing Career Theory Based on "New Science": A Futile Exercise? The Devill's Advocate Comentary. *M@n@gement*, 5 (1), S. 15-21
- Brissaud J-B (2005) The Meaning of Entropy. *Entropy*, 7 (1), S. 68-96
- Collet P & Eckmann JP (1980) *Iterated Maps on the Interval as Dynamical System*. Birkhäuser, Basel
- DeCoster GP & Mitchell DW (1991) Nonlinear Monetary Dynamics. *Journal of Business and Economic Statistics*, 9, S. 455-462
- DeCoster GP, Labys WC & Mitchell DW (1992) Evidence of Chaos in Commodity Futures Prices. *Journal of Future Markets*, 12, S. 291-305
- DeFillippi RJ & Arthur MB (1994) The Boundaryless Career: A Competency-Based Perspective. *Journal of Organizational Behavior*, 15 (4), S. 307-324
- DeFillippi RJ & Arthur MB (1998) Paradox in Project-Based Enterprise: the Case of Film Making. *California Management Review*, 40 (2), S. 125-139
- Dooley KJ (1997) A Complex Adaptive System Model of Organizational Change. *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences*, 1 (1), S. 69-97
- Freeman WJ & DiPrisco V (1986) EEG Spatial Pattern Differences with Discriminated Odors Manifest Chaotic and Limit Cycle Attractors in Olfactory Bulb of Rabbits. In: Palm G & Aertsen A (Hrsg) *Brain Theory*. Springer, Berlin, S. 97-119
- Freeman WJ (2000) A Proposed Name for Aperiodic Brain Activity: Stochastic Chaos. *Neural Networks*, 13, S. 11-13
- Hillmert S (2003) Karrieren und institutioneller Kontext. Fallstudien aus dem Bereich der Ausbildungsberufe. In: Hitzler R & Pfadenhauer M (Hrsg) *Karrierpolitik. Beiträge zur Rekonstruktion erfolgsorientierten Handelns*. Leske & Budrich, Opladen, S. 81-96
- Morel B & Ramanujam R (1999) Through the Looking Glass of Complexity: The Dynamics of Organizations as Adaptive and Evolving Systems. *Organization Science*, 10 (3), S. 278-293
- Schiepek G, Kowalik ZJ, Schütz A, Köhler M, Richter K, Strunk G, Mühlwinkel W & Elbert T (1997) Psychotherapy as a Chaotic Process. Part I: Coding the Client-Therapist Interaction by Means of Sequential Plan Analysis and the Search for Chaos: A Stationary Approach. *Psychotherapy Research (International Journal of the Society for Psychotherapy Research, SPR)*, 7 (2), S. 173-194
- Shannon CE (1948) A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*, 27, S. 379-423 and 623-656
- Shannon CE & Weaver W (1949) *Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Illinois
- Strunk G (2005) Karrieren zwischen Chaos und Ordnung. In: Mayrhofer W, Meyer M & Steyrer J (Hrsg) *Macht? Erfolg? Reich? Glücklich? Einflussfaktoren auf Karrieren*. Linde, Wien, S. 243-277
- Thiéart RA & Forgues B (1995) Chaos Theory and Organization. *Organization Science*, 6 (1), S. 19-31

- Tschacher W, Schiepek G & Brunner EJ (Hrsg) (1992) *Self-Organization and Clinical Psychology. Empirical Approaches to Synergetics in Psychology*. Springer, Berlin
- Weidlich W & Haag G (1983) *Concepts and Models of a Quantitative Sociology*. Springer, Berlin