2. Das Potenzgesetzverhalten in Theorie und Empirie

Komplexitätswissenschaft ist die Wissenschaft komplexer Systeme. Angesichts der empirischen Omnipräsenz ihres Untersuchungsgegenstands, der Komplexität, ist sie eine transdisziplinär angelegte und auf universale Fragestellungen zielende Wissenschaft (vgl. Ball 2005). Komplexitätswissenschaftlich orientierte Gesellschaftswissenschaften unterscheiden sich von den herkömmlichen Sozialwissenschaften durch ihre enge Anlehnung an die Naturwissenschaften und den damit einhergehenden Transfer von Konzepten, Theorien und Methoden (vgl. Stewart 1950, Byrne 1998). Wie Thomas Kron (2007: 3) sehr richtig beobachtet, ist ein solcher Transfer „vor allem epistemologisch stark umstritten, zumindest, wenn man nicht das Erkenntnisprogramm der generellen (und soziologischen) Systemtheorie teilt." Zu beachten ist jedoch, dass eine Konzeptübertragung, wie sie die Komplexitätswissenschaft ermöglicht, keineswegs zu verwechseln ist mit einer rein metaphorischen Verwendung naturwissenschaftlicher Begriffe (vgl. Contractor 1999). Mit von Bertalanffy (1968, 1990) gesprochen handelt es sich bei den transdisziplinär übernommenen Begriffen nicht um wissenschaftlich letztlich wertlose *Analogien*, also rein äußerlichen Übereinstimmungen, sondern um (logische) *Homologien*: Aussagen über *Isomorphismen*, Formgleichheiten, also über innere, sich aus *gemeinsamen Gesetzmäßigkeiten* ergebende Übereinstimmungen (Hall, Fagen 1956; von Bertalanffy, Beier, Laue 1977).

Die komplexitätswissenschaftliche Sichtweise gestattet einen neuartigen Blick auf soziale Phänomene, indem sie bewusst Abstand von der menschlichen Binnenperspektive auf das Soziale hält und so eine Überbetonung der Unterschiede zwischen menschlicher Gesellschaft einerseits und Erscheinungen der Natur andererseits zu vermeiden sucht. Sie ist insofern, wenn auch keineswegs 'antihumanistisch' (so hingegen Luhmann 1997: 35 über seine eigene Theorie), so aber doch 'a-human': Der Mensch und seine Kollektivierungsformen, so die Grundannahme der komplexitätswissenschaftlichen Sozialwissenschaft, unterliegen den grundsätzlich gleichen Gesetzmäßigkeiten wie die Gegebenheiten der Natur. Die auf Homologien fokussierende, a-humane Perspektive der komplexitätswissenschaftlichen Gesellschaftswissenschaft geht mithin davon aus, dass auch im sozialwissenschaftlichen Bereich Gesetze im naturwissenschaftlichen

C. Trinn, *Konflikt und Komplexität,* DOI 10.1007/978-3-658-09644-1_2,
© Springer Fachmedien Wiesbaden 2015

Sinne zu finden sind. Je komplexer ein System ist, desto schwieriger ist es, die Gesetze zu entdecken, die seine Dynamik bestimmen. Das bedeutet jedoch nicht, dass es diese Gesetzmäßigkeiten nicht gäbe. Da das menschliche Gehirn jedoch zu den komplexesten Entitäten der bekannten Welt gehört (vgl. Haken 2000; Luhmann 2002; Urry 2005) und den Menschen entsprechend mit einer ungewöhnlich großen Zahl von Freiheitsgraden (vgl. Teilabschnitt 3.1.1) ausstattet, sind auch menschliche Kollektivierungsformen ausgesprochen komplexe Gebilde. Da eine Beschreibung oder Modellierung eines Systems, will sie den Gegenstand angemessen abbilden, selbst umso komplexer wird, je komplexer das zu modellierende System ist, sieht sich die sozialwissenschaftliche Forschung einer großen Herausforderung gegenüber.

Die Regelmäßigkeiten, die in Systemdynamiken zu entdecken sind, und die Gesetzmäßigkeiten, denen diese Dynamiken unterliegt, sind jedoch trotz der Komplexität des Systems oftmals erstaunlich einfach. Hieran wird deutlich, dass die Komplexität von Systemen ein emergentes Phänomen ist: Sie erwächst aus simplen Gegebenheiten (vgl. Kapitel 1). Auch und gerade für die Sozialwissenschaften kann daher ein erster Schritt darin bestehen, solche Regelmäßigkeiten und Gesetzmäßigkeiten zu entdecken. Durch den Abstand, den gerade der komplexitätswissenschaftliche Ansatz von einem vielleicht vorschnellen Eindringen in die Komplexitäten menschlicher Gesellschaften hält, und in der damit verbundenen Fokussierung auf das Allgemeine und Abstrakte bietet er vielversprechende Möglichkeiten.

Eine solche Gesetzmäßigkeit, die sich im natur- wie sozialwissenschaftlichen Kontext herauskristallisiert, ist die Potenzgesetzverteilung. In der Konfliktforschung wird dieses statistische Phänomen unter der Bezeichnung *Richardsons Gesetz* diskutiert (Cederman 2003). Es besagt, dass die Häufigkeit, mit der ein Konflikt einer bestimmten Intensität auftritt, mit steigendem Intensitätsniveau einem Potenzgesetz folgend abnimmt. Die Entdeckung dieser Gesetzmäßigkeit ist dabei dem sich entwickelnden komplexitätswissenschaftlichen Forschungsprogramm zu verdanken. Dies zeigt nicht zuletzt an dem Hintergrund der involvierten Forscher, die die Grenze zwischen Natur- und Sozialwissenschaften überbrück(t)en. So war der Engländer Lewis Richardson, nach dem die Potenzgesetzverteilung von Konflikten zumeist benannt wird, Mathematiker, Physiker, Meteorologe und, neben dem US-amerikanischen Politikwissenschaftler Quincy Wright (1942), ein Begründer der modernen Konfliktforschung (Boulding 1977; vgl. Kapitel 2). Die in den 1940er Jahren durch Richardson gewonnene Erkenntnis zur Häufigkeitsverteilung von Konfliktintensitäten geriet jedoch nahezu in Vergessenheit, bis sein Befund durch den schwedischen Physiker und Politikwissenschaftler Lars-Erik Cederman ‘wiederentdeckt’ und im Jahr 2003 erneut in die Konfliktforschung eingeführt wurde. Seitdem hat es

einige Veröffentlichungen zu diesem Thema gegeben, oftmals jedoch von außerhalb der politikwissenschaftlichen Konfliktforschung.

Im Folgenden sollen zunächst der Begriff der Potenzgesetzverteilung erklärt und seine theoretische Bedeutung erhellt werden (2.1). Sodann wird der empirische Stand zu Potenzgesetzverteilungen in der Konfliktforschung erläutert (2.2). Schließlich wollen wir auf die komplexe Frage nach der möglichen Erklärung für das Auftreten von Potenzgesetzverteilungen in empirischen Daten eingehen (2.3). Das ähnlich schwierige Problem der Messung von Potenzgesetzverteilungen wird im Zusammenhang mit der empirischen Untersuchung in Kapitel 5 thematisiert.

2.1. Begriff und theoretische Bedeutung

Die Häufigkeit des Auftretens eines Ereignisses einer bestimmten Größe folgt einem *Potenzgesetz* (*power law*), wenn diese Häufigkeit invers von der Größe der Ereignisse in der Form

$$y = x^{-\alpha} \tag{1}$$

abhängt, wobei y die Häufigkeit der Ereignisse, x die Größe der Ereignisse und α die 'Potenz' bzw. der 'Exponent' sei, auch bekannt als der *Skalierungsparameter* (Clauset, Shalizi, Newman 2009).

Charakteristisch für Potenzgesetzverteilungen ist ihr *long tail*, also ihre hochgradige Rechtsschiefe: Es treten mehr *große* Ereignisse auf, als bei einer Normalverteilung von Zufallsvariablen zu erwarten wäre, d.h. viele Daten befinden sich im oberen Ende (dem 'Schwanz') der Verteilung. Zugleich treten in potenzgesetzverteilten Daten Ereignisse *mittlerer* Größe deutlich seltener auf als bei einer Normalverteilung (vgl. Abbildung 2).

Häufig verwendete Beispiele zur Verdeutlichung der Unterschiede zwischen Potenzgesetz- und Normalverteilungen sind die Einwohnerzahl von Städten und die menschliche Körpergröße (vgl. im Folgenden Newman 2005, Clauset, Young, Gleditsch 2007 sowie Clauset, Shalizi, Newman 2009). Die 'Ereignisse', von denen oben die Rede war, sind in diesem Fall Städte bzw. Personen. Die Körpergröße ist normalverteilt, d.h. die Daten streuen um einen *typischen Wert*, bei dem die Verteilung die größte Häufigkeit erreicht. Dieser Wert liegt heutzutage bei männlichen Erwachsenen bei einem arithmetischen Mittel von etwa 180 cm. Die Daten streuen in einem recht schmalen Bereich, d.h. kein Wert liegt sehr weit von dem Mittelwert entfernt. So liegt der Weltrekord für den kleinsten

Mann bei 57 cm und für den größten bei 2,72 m. Dies ergibt ein Größenverhältnis von ca. 4,8.

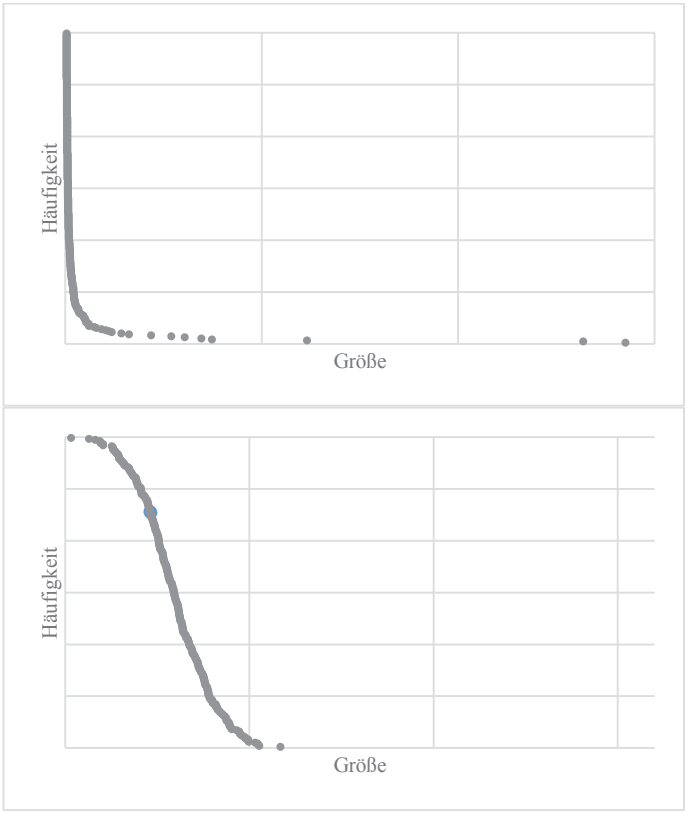


Abbildung 2 – Illustration einer Potenzgesetzverteilung (oben) und einer Normalverteilung (unten)

Ganz anders sieht die Verteilung der Größe von Städten aus. Der Mittelwert von 8.226 Einwohnern in US-amerikanischen Städten im Jahr 2000 ist kein typischer Wert. Die Daten streuen über ein sehr breites Spektrum: So hatte die größte Stadt in diesem Sample, New York, ca. acht Millionen Einwohner, während die kleinste Stadt, Duffield in Virginia, nur 52 Einwohner zählte. Das Größenverhältnis liegt hier mithin bei einem Wert von über 150.000.

Wäre die Einwohnerzahl von Städten normalverteilt, läge die größte zu erwartende Einwohnerzahl bei 781.870. Folgte die Körpergröße hingegen einem Potenzgesetz, wäre der größte Mensch über 381 m groß, während Millionen Menschen nur 17 cm messen würden. Dies sind offenkundig absurde Zahlen. Sie verdeutlichen aber die gravierenden Unterschiede zwischen den beiden Arten von Häufigkeitsverteilungen. Es wird an diesen Beispielen insbesondere deutlich, wie groß die Bandbreite der möglichen Werte in Potenzgesetzverteilungen ist. Potenzgesetzverteilte Daten haben *keinen* typischen Wert (Bak 1996). Man nennt Potenzgesetzverteilungen daher auch *skaleninvariant* (Clauset, Young 2005; Farmer, Geanakoplos 2008). Wenn ein Datensatz einem Potenzgesetz folgt, bedeutet dies mithin, dass große Werte *keine* statistischen 'Ausreißer' darstellen, die ignoriert werden müssten, sondern zum Gesamtbild der Verteilung gehören (Brunk 2001, 2002b; Clauset, Young 2005). In einem solchen Fall Ausreißer als 'anomale' Ereignisse aus einer statistischen Analyse auszuschließen, würde wesentliche Informationen vernachlässigen. Die auf den restlichen Ereignissen basierende Verteilung erschiene als triviale Gaußsche Normalverteilung, was sie nicht ist (Bak, Paczuski 1995: 6690)

Skaleninvariante Daten mit einem Skalierungsparameter von $\alpha \leq 2$ besitzen keinen endlichen Mittelwert (Newman 2005). So ergibt es bspw. im Hinblick auf Erdbeben – für deren Stärke ein Exponent von $\alpha = 1{,}64$ diskutiert wird (Clauset, Shalizi, Newman 2009) – keinen Sinn, von einem 'Erdbeben durchschnittlicher Größe' zu sprechen. Es gibt kein 'typisches' Erdbeben – auch nicht in einem bestimmten Zeitabschnitt: Nur weil beispielweise zwischen den Jahren 1900 und 2000 die Erdbeben in einer Region im Mittel die Stärke x aufwiesen, heißt dies keineswegs, dass dies für die Jahre 2000 bis 2100 ebenso der Fall ist; die Werte können weit darüber oder darunter liegen. Insofern ist es auch nicht ratsam, davon zu sprechen, dass ein Erdbeben einer bestimmten Größe – z.B. im Bereich des San-Andreas-Grabens in Kalifornien – längst 'überfällig' sei. Bei einem Skalierungsparameter von $\alpha > 2$ gibt es zwar einen endlichen Mittelwert, doch ist dieser nicht aussagekräftig:

> [T]he average value of a power law is not representative of the entire distribution, and events orders of magnitude larger than the mean are, in fact, relatively common. (Clauset, Young, Gleditsch 2007: 63)

Daten mit einem Skalierungsparameter von $\alpha \leq 3$ besitzen überdies keine endliche Varianz oder Standardabweichung (Newman 2005). Zwar ist jeder Datensatz endlich, so dass hierfür die zentralen Momente Mittelwert und Varianz errechnet werden können (Newman 2005), doch wird er sich nicht einem endlichen Wert annähern, wenn er größer wird, sich also neue Ereignisse ergeben (Biggs 2005).

Charakteristisch für Potenzgesetzverteilungen ist die Tatsache, dass der Logarithmus der Größe der Ereignisse und der Logarithmus ihrer Häufigkeit einen linearen Zusammenhang aufweisen. In einer doppel-logarithmischen Darstellung, also einem Diagramm, in dem beide Achsen logarithmisch skaliert sind (*log-log plot*) ergibt sich daher eine Gerade. Dies kontrastiert deutlich mit normalverteilten Ereignissen, wie Abbildung 3 illustriert.

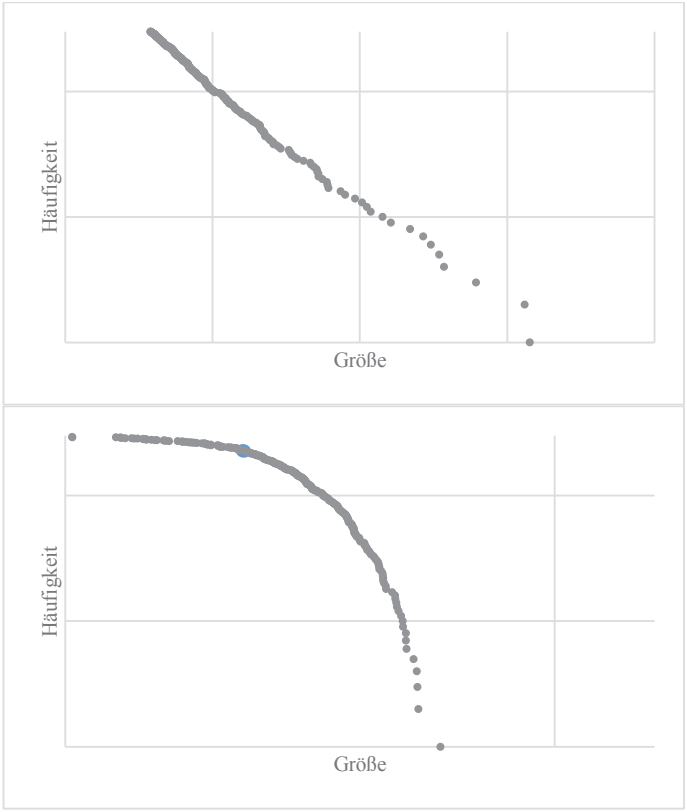


Abbildung 3 – Doppel-logarithmische Skalierung einer Potenzgesetzverteilung (oben) und einer Normalverteilung (unten)

Die logarithmische Skalierung stellt das inverse Verhältnis bei Potenzgesetzverteilungen zwischen der Größe eines Ereignisses und seiner Häufigkeit heraus. Die Aussage, dass große Ereignisse seltener vorkommen als kleine, ist an sich

trivial; doch die Tatsache, dass die Abnahme der Häufigkeit bei zunehmender Größe eine derartig starke Regelmäßigkeit in der Häufigkeit der Größe unterschiedlicher Ereignisse aufweist, ist bemerkenswert. Erkennbar wird in dieser Darstellungsweise auch der Skalierungsparameter α, wobei die negative Steigung der Geraden $\gamma = \alpha - 1$ entspricht (Johnson et al. 2006).

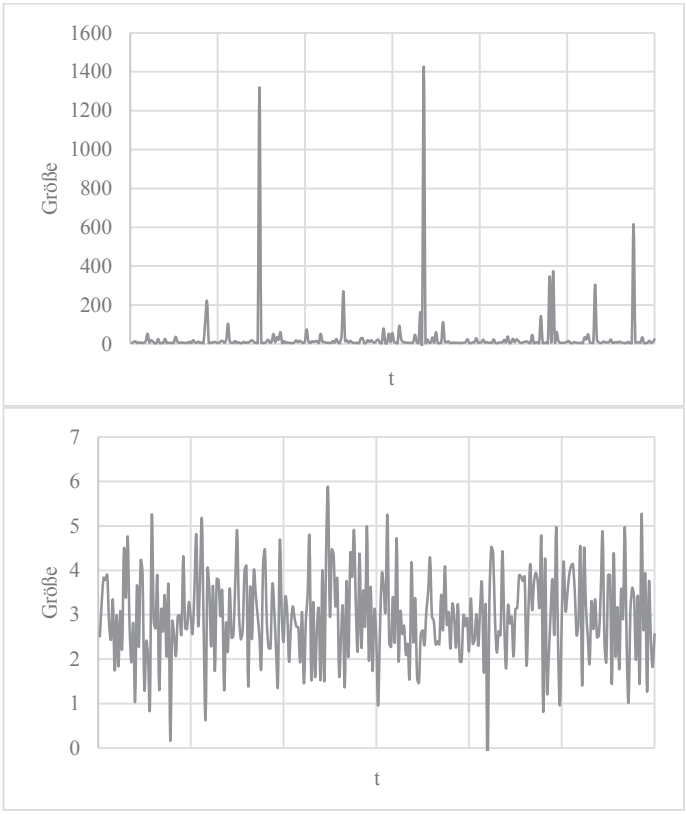


Abbildung 4 – Zeitreihe potenzgesetzverteilter (oben) und normalverteilter Daten (unten)

Große Unterschiede zwischen potenzgesetz- und normalverteilten Daten zeigen sich auch in ihrer Verteilung in der Zeit. Abbildung 4 veranschaulicht eine Abfolge zufällig schwankender Werte gegenüber einer Abfolge von in ihrer Gesamtheit potenzgesetzverteilten Daten (vgl. Bak 1996). Während in ersterer die

Streuung der Werte um das arithmetische Mittel erkennbar ist, zeigt die Zeitreihe potenzgesetzverteilter Daten eine für *long-tail*-Verteilungen charakteristische *burstiness* (vgl. Bohorquez et al. 2009): Die Abfolge vieler kleiner und weniger mittelgroßer Ereignisse wird plötzlich durch einige wenige extrem große Ereignisse unterbrochen. Erkennbar ist auch, um wie vieles größer das Größenverhältnis der Werte der potenzgesetzverteilten gegenüber der normalverteilten Zeitreihe ist.

Mitunter werden diese zeitlichen Eigenschaften auch mit dem Begriff 'weißes Rauschen' (*white noise*) bei zufällig verteilten und 'rosa Rauschen' (*pink noise*) bei potenzgesetzmäßig verteilten Daten belegt (Hergarten 2002). Ein anderer Fachbegriff hierfür ist 'Funkelrauschen' oder *flicker noise* (Brunk 2001). Bei weißem Rauschen, also zufälligen Fluktuationen, sind die Ereignisse im Zeitverlauf vollständig unkorreliert; bei rosa Rauschen, d.h. potenzgesetzverteilten Fluktuationen, können hingegen *Autokorrelationen* in der Zeitreihe auftreten, also Korrelationen zeitlich aufeinanderfolgender Ereignisse untereinander. Zu unterscheiden ist *short-range persistence* (Malamud, Turcotte 1999), bei welcher die Korrelation rasch abnimmt, von *long-range persistence* (ibid.) bzw. *long-memory processes* (Farmer, Geanakoplos 2008; vgl. Brunk 2001, Touboul, Destexhe 2010), also der Beeinflussung der Größe von Ereignissen durch weit zurückliegende Vorgängerereignisse (vgl. Corral 2004, 2005). Ein Beispiel für *short-range persistence* sind Vor- und Nachbeben, die räumlich und zeitlich in der Nähe zu einem Haupterdbeben auftreten (Hergarten 2002). Zu unterscheiden ist bei diesen Abhängigkeiten eine Korrelation der Ereignis*größen* – wenn z.B. große Ereignisse weitere große Ereignisse (positiv korreliert) oder aber besonders häufig kleine Ereignisse nach sich ziehen (negativ) – von Korrelationen in der Größen*veränderung* – wenn bspw. eine Eskalation eine weitere Eskalation (positiv korreliert) oder aber eher eine Deeskalation nach sich zieht (negativ).

Ein Maß für die 'Zerklüftetheit' einer Zeitreihe ist der Hurst-Exponent H (Brunk 2002a), der den Kehrwert des Steigungsparameters repräsentiert:

$$H = \frac{1}{\alpha} \tag{2}$$

Ein Wert von H = 0,5 deutet dabei auf vollständige Zufälligkeit hin, also auf weißes Rauschen. Ein Wert von H > 0,5 weist auf *Persistenz*effekte in der Zeitreihe hin, also auf positive Korrelationen und zeitlich weitreichende, gleichgerichtete Folgen. So zieht in diesem Fall ein großes (bzw. kleines) Ereignis oder eine große (bzw. kleine) Ereignisveränderung weitere große (bzw. kleine) Ereignisse bzw. Ereignisveränderungen nach sich. Ein Wert von H < 0,5 ist demgegenüber ein Hinweis auf *Anti-Persistenz* (Carvalho et al. 2007). Ereignisse

bzw. Ereignisveränderungen sind hier zeitlich negativ korreliert: Ein großes (bzw. kleines) Ereignis oder eine große (bzw. kleine) Ereignisveränderung zieht eine gegenteilige Folgeerscheinung nach sich, also ein kleines (bzw. großes) Ereignis bzw. eine kleine (bzw. große) Ereignisveränderung. Während sich bei Persistenzen Eskalationen bzw. Deeskalationen verstärken, kehren die Werte im Falle von Anti-Persistenzen unter beträchtlichen Fluktuationen immer wieder zum Mittelwert zurück.

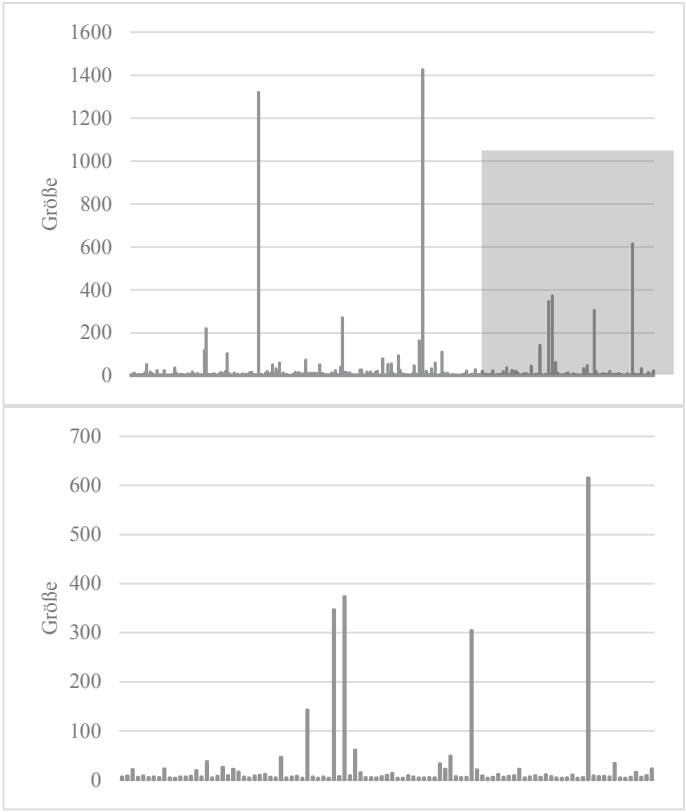


Abbildung 5 – Selbstähnlichkeit potenzgesetzverteilter Zeitreihen (Original oben, Ausschnitt unten)

Aufs engste mit der Potenzgesetzmäßigkeit verknüpft ist der Begriff der *Selbstähnlichkeit*. Auch hier hat Richardson (1961) einen entscheidenden Beitrag

geliefert, indem er aus Anlass der Längenmessung internationaler Grenzen zur Bestimmung der Kriegswahrscheinlichkeit zwischen benachbarten Staaten feststellte, dass Grenzen und auch Küstenlinien umso länger erscheinen, je feiner die Messung erfolgt. Dies liegt an der Selbstähnlichkeit von Küsten- und Grenzverläufen, d.h. die charakteristische Gezacktheit bleibt gleich, unabhängig von der Skala (Mandelbrot 1967).

Diese skaleninvariante Selbstähnlichkeit zeigt sich z.B. auch im Zeitverlauf potenzgesetzverteilter Ereignisse, wie in Abbildung 5 ersichtlich wird. Hier zeigt das untere Diagramm einen vergrößerten Ausschnitt aus der oberen Darstellung. Die *burstiness* der Verteilung der Ereignisse in der Zeit bleibt ähnlich, unabhängig von der Skalierung der Größenachse. Die Grundeigenschaften eines selbstähnlichen Phänomens bleiben mithin die gleichen, auch wenn das zeitliche, räumliche oder in anderer Hinsicht definierte Beobachtungsraster feiner wird.

Die Eigenschaften von Potenzgesetzen haben weitreichende Konsequenzen für die Möglichkeiten der *Erklärung* und *Vorhersage* von Ereignissen. Führen wir uns die beiden wichtigsten Mustertypen in Abbildung 6 vor Augen. Das obere Diagramm zeigt deutlich, dass zwischen kleinen und großen Werten *kein* grundsätzlicher, kausallogischer Unterschied besteht: Große Ereignisse (hier gelb hinterlegt) sind schlicht größere Varianten kleinerer Ereignisse (blau hinterlegt). Aufgrund der Skaleninvarianz der Statistik lässt sich mithin sagen, dass große und kleine Ereignisse die gleiche Ursache haben, wenn sie potenzgesetzverteilt sind (Clauset, Young, Gleditsch 2007). Dies bedeutet, dass letztlich *ein* einheitlicher Mechanismus für das Entstehen derartiger Ereignisse verantwortlich ist, aus eben dem sich auch die Größenunterschiede ergeben. Es ist kein Modell notwendig, das das Auftreten eines Ereignisses einerseits und seine Größe andererseits erklärt. So liegt bspw. allen Erdbeben – einem Naturphänomen, das potenzgesetzverteilt ist – prinzipiell der gleiche generative Mechanismus zugrunde, der Erdbeben stark unterschiedlicher Intensität erzeugt. Ähnliches könnte auch für politische Konflikte und ihre Intensität gelten, sofern sie einem Potenzgesetz folgen.

Wenn Konflikte, wie Erdbeben, Teil *einer* Verteilung sind, muss außerdem nicht nach spezifischen Erklärungen für individuelle Konflikte gesucht werden: Es ist zwar durchaus möglich, ein ganz bestimmtes Erdbeben konkret in seiner Entstehung nachzuvollziehen (und je größer das Beben ist, desto wahrscheinlicher wird dieses Vorgehen in der Praxis), doch überwiegen die Gemeinsamkeiten zwischen den Erdbeben, so dass die Suche nach einem einheitlichen Modell sinnvoll ist. Wenn Konflikte sich statistisch so ähnlich verhalten wie bspw. Erdbeben, ist auch in diesem Bereich eine einheitliche, von den vielen, zwischen den Einzelkonflikten bestehenden Unterschieden abstrahierende Modellierung

http://www.springer.com/978-3-658-09643-4

Konflikt und Komplexität
Die Intensität innerstaatlicher Gewaltkonflikte in systemtheoretischer Perspektive
Trinn, C.
2015, VIII, 370 S. 94 Abb., Softcover
ISBN: 978-3-658-09643-4