

# GEOFOKUS



# alea iacta est

## und Geophysik für „Monte Carlo“

Heinz-Jürgen Brink\*

### 1. Einleitung

Nachdem er dem keltischen Gallien das Rückgrat gebrochen und es wie eine Spielbank geplündert hatte, überschritt Gaius Julius Caesar am 10. Januar 49 v. Chr. mit den Worten „alea iacta est“ den Rubikon trotz des bestehenden Verbotes, dass sich kein römischer Feldherr mit bewaffneten Truppen Rom nähern dürfe. Caesars berühmter Anspruch bezieht sich einerseits auf die irreversible Gesetzesübertretung (der Würfel ist jetzt außerhalb jeglicher Kontrolle), andererseits auf die Risiken der Tat (der Würfel kann auf jede beliebige Seite fallen). Ihm war bewusst, dass er neben den geraubten keltischen Schätzen Glück brauchen würde, um seine Gegner in Rom zu besiegen. So war die Wahl des Würfels als Symbol dafür klar und eindeutig. Sicherlich hat er seinem Erfolg im Vorfeld der Entscheidung eine Wahrscheinlichkeit zugesprochen, die nicht gegen Null tendierte. Ob er sich vorher, wie unter den Römern üblich, auch eines Vorhersagerituals bedient hatte und himmlische Zeichen (Blitz u. Donner) oder den Vogelflug ergründen oder sich aus den Eingeweiden von Opfertieren ein Orakel erstellen ließ, ist nicht überliefert.

Vielleicht hat auch der römische Feldherr Publius Quinctilius Varus ähnlich gedacht, als er 9 n. Chr., also vor genau 2000 Jahren, mit einem Achtel des römischen Gesamtheeres gegen die Germanen in den Teutoburger Wald in die Schlacht zog – zufälligerweise an einen Ort im Zentrum bedeutender geophysikalischer Potentialfeldanomalien –, in eine Schlacht von welt-historischer Bedeutung, da sich die Römer folge-wirksam risikoreduzierter verhielten und gegen sie aufbegehrende Völker andernorts wie z.B. in Judaea, wo Varus früher als Berater des Königs Herodes gewirkt hatte, wegen größer gewordener Zuversicht riskanter auf das imperiale Desaster reagierten. Vielleicht dachten aber auch die

unter sich zerstrittenen Germanen unter Arminius so, die sich ihres Erfolges ebenfalls nicht sicher sein konnten. Ob sie vorher ihre Priesterinnen, die unter den Germanen wegen ihrer „verlässlichen“ Voraussagen großen Respekt genossen, um ein traditionelles Orakel gebeten hatten, ist unbekannt.

Die Kampf- und Risikobereitschaft der Germanen muss sehr hoch gewesen sein und war historischen Quellen zufolge auch Bestandteil ihrer Lebensart. Über ihre Würfelleidenschaft berichtet Tacitus in Germania 24, dass sie „dem Würfelspiel merkwürdigerweise in voller Nüchternheit huldigten, als wenn es sich um ein ernsthaftes Geschäft handelte. Dabei sind sie in Bezug auf Gewinn und Verlust von einer so blinden Leidenschaft besessen, dass sie, wenn sie alles andere verspielt haben, mit dem letzten entscheidenden Wurf um die Freiheit und ihren eigenen Leib kämpften“. Diese Einstellung zum Glückspiel scheint sich in späteren Zeiten kaum abgeschwächt zu haben, auch wenn die Nüchternheit manchmal draußen vor blieb: Um 1220/30 heißt es in der Carmina Burana:

*„Manche würfeln, manche saufen,  
andre lärmen, schreien, raufen.  
Derer, die ein Spiel begannen,  
ziehet mancher nackt von dannen;  
andere sich ein Wams gewinnen,  
andre gehen im Sack von hinnen.  
Keiner denkt der Todesstunde,  
Bacchus gilt die Würfelrunde.“*

Auch in den heutigen modernen Zeiten werden spezielle Entscheidungen, z.B. in der Erdöl- und Erdgasexploration, mit den Regeln eines Würfelspiels vorbereitet, wenn die Abschätzung von Risiken gefordert ist und Wahrscheinlichkeiten vorhergesagt werden sollen. Dass dabei die eine oder andere Voraussage eher einem Orakel gleicht, liegt bei unzureichender geowissenschaftlicher Datenmenge und deren Analyse oft in der Natur der Sache.

Wenn der Mensch so gerne würfelt und dem Risiko und Zufall bis hin zum eigenen Untergang huldigt, dies auch in der Kunst vielfach ihren Ausdruck gefunden hat und Las Vegas und Monte Carlo deswegen aufgeblüht sind, was signalisiert er damit? Reflektiert er dabei unbewusst über Prozesse in der Natur, die ihm möglicherweise sein Leben selbst und das der anderen sowie das des gesamten Gemeinwesens als Würfelspiel erscheinen lassen? Zumindest findet sich diese Einstellung in manchem Sakralgebäude wie z.B. an der Klosterkirche von Cottbus symbolisiert.

Dem hat Albert Einstein allerdings mit seinem berühmten Zitat widersprochen, dass Gott im Universum nicht würfelt. Einstein war der Zufall zutiefst zuwider, der aber in der Quantenphysik eine herausragende Bedeutung bekam. Für ihn lag in den technischen Errungenschaften seiner Zeit „die göttliche Neugier und der Spieltrieb des bastelnden und grübelnden Forschers, nicht minder die konstruktive Phantasie des technischen Erfinders“ verborgen. Sollte der Spieltrieb des Menschen, den wir bei Caesar, den Germanen und ihren Nachfahren und nun auch bei den Forschern vermuten können, ein Ausdruck der Natur sein, so dürften auf allen Skalen der Natur ebenfalls würfelspielähnliche Prozesse unter Wahrung der Naturgesetze abgelaufen sein. Das könnte dann zu den Aussagen verleiten, dass Gott durchaus Gefallen am Würfelspiel hat, Würfelspiele eventuell sogar Säulen seiner Schöpfung bedeuten, Würfelabbildungen in Kirchen daher nicht deplatziert sind und unsere mögliche „zivilisatorische“ Einsamkeit im Weltall – auf einem wahrscheinlich einzigartigen Planeten „spielerisch“ lebend – besser einzuordnen sowie philosophisch und seelisch zu verkraften ist, zumal die Erde die Hälfte ihrer Zeit schon hinter sich hat.

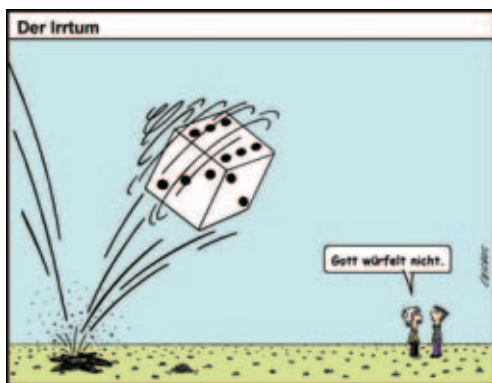
Wenden wir den Blick aber ab von dem „großen Wurf“, unserem blauen Planeten, der sich im Hyperparameterraum des Universums, nach vorrangegangenem zeitintensivem Ausbrüten von schwereren Elementen innerhalb explodierender Protosterne hin bis zum erdgeschichtlich bedeutsamen Uran, in einer geeigneten Galaxis



**A: Cäsar überschreitet den Rubikon (49 v. Chr.). – nach Liebigs Sammelbilder, 1938, modifiziert**



**B: Würfelabbildung aus dem Jahre 1303 an der Klosterkirche in Cottbus**



C: Quelle: <http://www.joachim-czichos.de>

bei geeigneter Sonne und einem geeignetem Abstand zu ihr, bei geeigneter Größe und geeigneter Zusammensetzung und Wärmegeschichte, unter Einbindung der biologischen Evolution und unter Einfluss eines großen Mondes, dessen außergewöhnliche Entstehung eng mit der der Erde verbunden ist, entlang einer großen geologischen Zeitachse „spielerisch“ lebensfördernd selbstreguliert sowie periodisch und episodisch verändert hat. Kehren wir Julius Caesar, den Germanen und Albert Einstein den Rücken zu und richten unser Augenmerk – dabei vorher einen erforderlichen Abstecher in die Welt des Lognormalen nehmend – auf das geowissenschaftliche Arbeitsfeld der schon oben erwähnten Erdöl- und Erdgasexploration unter besonderer Berücksichtigung der Geophysik.

## 2. Lognormal-Verteilungen

Natürliche, miteinander vergleichbare Objekte werden häufig nach messbaren Eigenschaften sortiert und damit einer „Rangfolge“ unterworfen. Geologische Formen an der Erdoberfläche, wie Inseln, Flusssysteme, Sedimentbecken oder auch Impaktkrater, die jeweils einem einheitlichen System zugeordnet werden können, bilden in dieser Betrachtungsweise keine Ausnahme. Sie weisen wie viele andere Systeme der unbelebten aber auch belebten Natur, wie auch Systeme im sozialen Bereich (z.B. wissenschaft-

liche Gesellschaften und ihre Mitglieder) eine Normal- (Gauß-) oder Lognormalverteilung ihrer Einzelelemente auf, wenn man jedes System in Klassifizierungseinheiten untergliedert und die Anzahl pro Einheit über die Klassifizierungsgröße (normal oder logarithmisch) graphisch aufträgt.

In der kumulativen Darstellung (Integration) wird die Gaußsche Glockenkurve im Zentralbereich in etwa linear. Bei einer zu geringen Anzahl von Elementen wird die Auswahl von und die Zuordnung zu Klassifizierungseinheiten schwierig, wenn nicht sogar unmöglich.

Sortiert man in einem solchen Fall die zu einem natürlichen System gehörigen Einzelelemente nach einem ihrer Messwerte und trägt die Logarithmen dieser Werte auf, wird sehr oft eine lineare Beziehung zwischen logarithmischer Größe und der Position innerhalb der Reihenfolge deutbar (Exponentialfaktor) (Abb. 1 und Abb. 2).

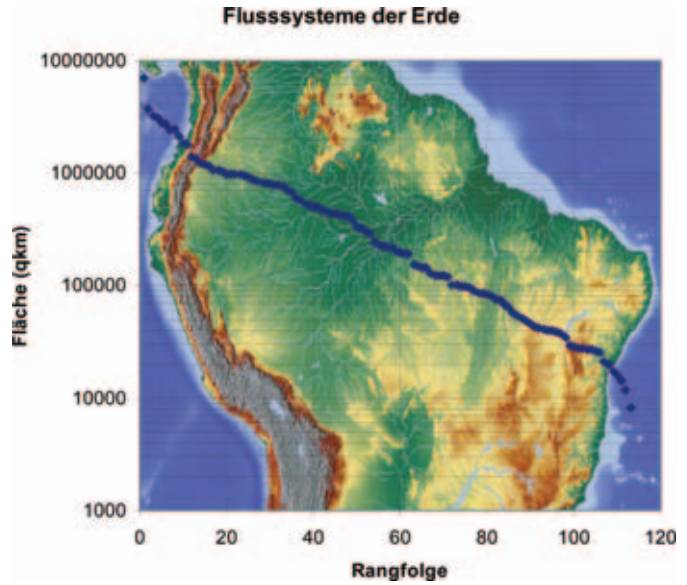
Diese Darstellung entspricht in etwa der kumulativen (integralen) Lognormalverteilung. Die statistischen Größen dieser Integralbeziehung wie Standardabweichung und die P15- bzw. P85-Wahrscheinlichkeitswerte stehen in einer mathematischen Beziehung zu dem ableitbaren Exponentialfaktor. Der Quotient aus Standardabweichung und der von ihr umfassten Anzahl der Einzelelemente ist dem Exponentialfaktor näherungsweise proportional. Beispiele für Systeme mit einer relativ geringen Anzahl von Elementen, deren Einzelwerte über mehrere Größenordnungen streuen, sind viele Kohlenwasserstoff(KW)-Systeme mit ihren Erdöl- und Erdgasfeldern in den Sedimentbecken der Erde. Die Verteilungen von Feldgrößen dieser Systeme verhalten sich überwiegend lognormal. Darauf wird weiter unten intensiv eingegangen.

## 3. Monte-Carlo-Analyse multiplikativer Systeme

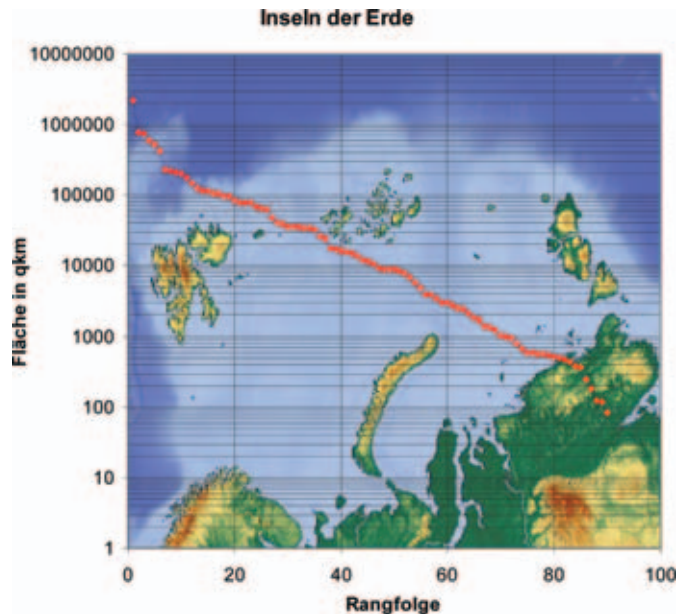
Jede einzelne zu einem Kohlenwasserstoffsystem gehörige Öl- bzw. Gasakkumulation wird offensichtlich durch seine Reserven charakterisiert. Diese Reserven werden multiplikativ aus der Strukturfläche, der Reservoirmächtigkeit,



**Abb. 1: Rangfolge der größten Flusssysteme der Erde nach der Fläche ihres Einzugsgebietes**  
(Hintergrund: [www.maps-for-free.com](http://www.maps-for-free.com))



**Abb. 2: Rangfolge der größten Inseln der Erde nach ihrer Fläche**  
(Hintergrund: [www.maps-for-free.com](http://www.maps-for-free.com))



der Strukturhöhe und den zugehörigen geometrischen Korrekturfaktoren, dem Nettoanteil des Reservoirs, seiner Porosität, der Wassersättigung und den Temperatur und Druck abhängigen Volumenfaktoren der gespeicherten Kohlen-

wasserstoffe bestimmt. In der Regel sind die meisten Parameter voneinander unabhängig und unterliegen einer gewissen Streubreite. Diese Streubreiten lassen nur Annäherungen in der Berechnung der genauen Reserven zu. Werden

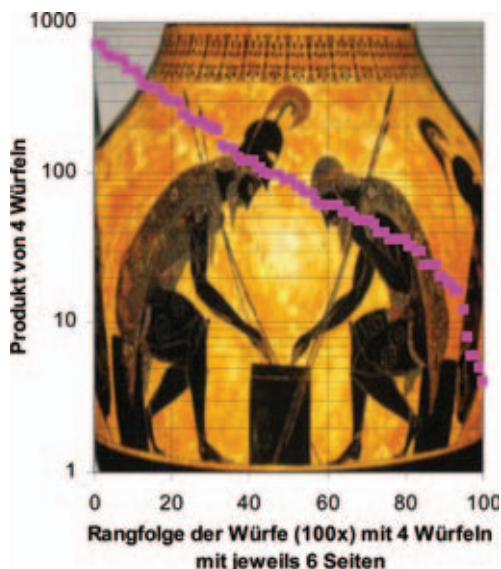


Abb. 3: Das Lognormale des Würfelspiels (Hintergrund: Achilles und Ajax beim Würfelspiel von Exekias, Griechische Amphore ca. 540 v. Chr., Vatikan Museum, Rom)

die Reserven eines Prospektes abgeschätzt, werden über Zufallsgeneratoren die abgeschätzten Streubreiten der Einzelparameter simuliert, dann Zufallsprodukte für Reserven generiert und aus der Häufigkeitsverteilung der Ergebnisse ein repräsentativer Mittelwert bestimmt. Die Verteilung der Zufallsprodukte lässt sich nun einfach über das Ergebnis eines Würfelspiels approximieren („Monte Carlo“ Methode), wobei jeder Würfel einen unabhängigen Parameter darstellt. Wirft man z.B. 100 mal mit 4 Würfeln, die jeweils 6 Flächen aufweisen und multipliziert von jedem Wurf die 4 Zahlen, so erhält man im Endeffekt in der gewählten Normaldarstellung, d.h. sortierte Werte über die Rangfolge, eine durch einen Alpha-Faktor determinierte exponentiell abklingende Kurve und in einer lognormalen Darstellung, bei der auf der y-Achse die Logarithmen der Exponentialwerte angegeben sind, das gewohnte Bild einer graphisch linearen Beziehung (Abb. 3). Wiederholt man

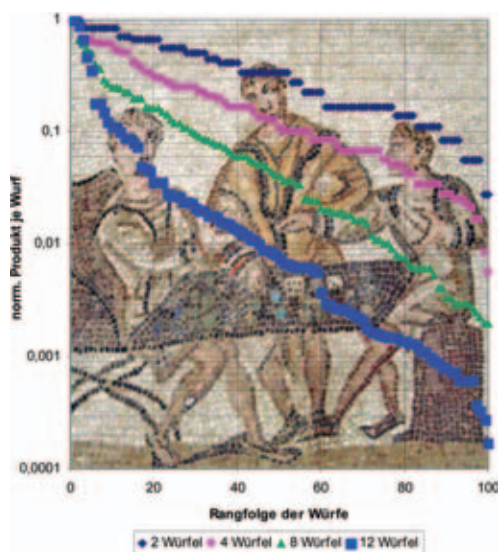
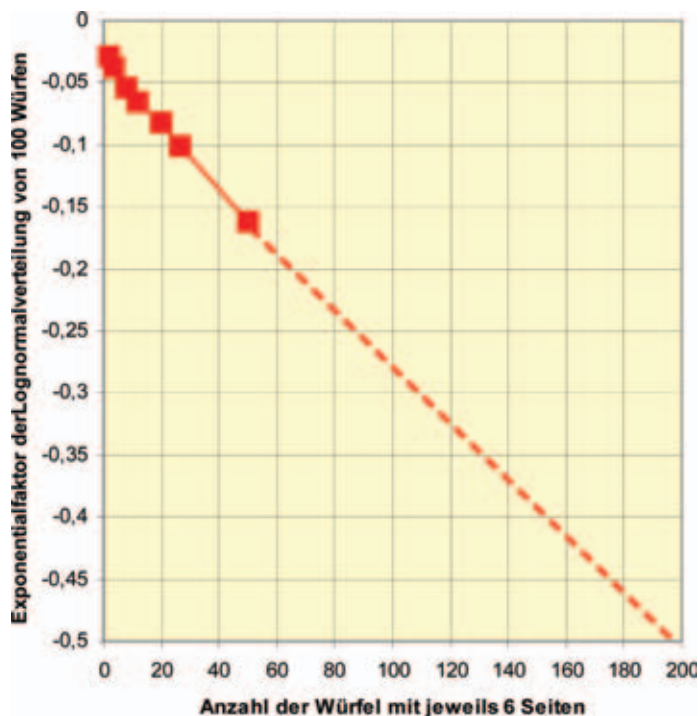


Abb. 4: Würfelspiel mit variabler Würfelzahl (Hintergrund: 3 Männer beim Würfelspiel, Römisches Mosaik aus Tunesien)

den Versuch mit Würfeln, die eine höhere Flächenzahl aufweisen, werden die Einzelprodukte größer, der lineare Trend bleibt aber grundsätzlich mit gleicher Neigung in der lognormalen Darstellung erhalten. Das ändert sich, wenn man die Anzahl der Würfel variiert. Mit größer werdender Würfelzahl steigt die Neigung in der gewählten Darstellung der Lognormalverteilung und damit in der mathematischen Betrachtungsweise der Exponentialfaktor Alpha (Abb. 4). Da bei 100 Würfeln mit 50 oder mehr Würfeln Wiederholungen (Abb. 5) wegen statistischer Unterrepräsentanz stark voneinander abweichen, wird der lineare Anfangsteil der Kurve für höhere Würfelzahlen extrapoliert. Da das angewandte Würfelspiel für jede Flächenzahl die gleiche Wahrscheinlichkeit und damit eine Rechteckverteilung liefert, in der Natur aber für Einzelparameter eher die Gaußsche Glockenkurve zutrifft, würde ein entsprechend modifizierter Würfelversuch zeigen, dass bei einer

Abb. 5: Der Exponentialfaktor einer Lognormalverteilung als Funktion der Würfel- bzw. Parameteranzahl



Änderung von Rechteck- in Gaußverteilung die Neigung in der gewählten lognormalen Darstellung abnimmt. Um bei einer Gaußverteilung der Einzelparameter eine größere Neigung zu verwirklichen, muss in so einem Fall die Anzahl der Parameter (Würfel) erhöht werden. Die Parameter, die ein Einzelobjekt bestimmen, bestimmen auch das aus diesen Einzelobjekten zusammengesetzte Gesamtsystem und dessen Verteilungskurve. Feldgrößenverteilungen müssten also auch etwas über die sie beherrschenden Sedimentbecken aussagen.

#### 4. Würfelspiel der Sedimentbecken

Eine der zahlreichen Methoden, Sedimentbecken zu klassifizieren, ist die Einstufung in ihre geotektonische Entwicklung. Die ihnen zugeordneten Kohlenwasserstoffsysteme und die sie repräsentierenden Feldgrößenverteilungen deuten auf wesentliche Unterschiede hin. Delta-becken zeigen eine sehr geringe Neigung im

Lognormalsystem, was generell auf eine niedrige Anzahl steuernder Faktoren hinweist. Multi-zyklische Becken dagegen können eine ausgesprochen hohe Lognormalneigung aufweisen, die auf Kohlenwasserstoffsysteme mit einer hohen Parameterzahl und damit auf hohe Komplexitätsgrade schließen lässt. Die Sedimentbecken der Erde, deren KW-Potential einem jurassischen Muttergestein zuzuordnen ist, weisen Lognormalverteilungen hinsichtlich der Beckenausdehnung sowie ihres KW-Potentials auf (Abb. 6, Rangfolge nach der Ausdehnung: „West Siberia Basin, Arabian/Iranian Basin, Gulf of Mexico, Amu Darya, Northwest European Shelf, Middle Caspian Sea, Greater Papua, Neuquen, Yemen, Barrow-Dampier, Scotia Shelf subbasin, Jeane d’Arc subbasin, Vienna Basin, Vulcan Graben“ und Abb. 7, in der die Rangfolge zusätzlich durch die Muttergesteinsqualität sowie durch die Genese-, Migrations- und Akkumulationsprozesse für Erdöl und Erdgas

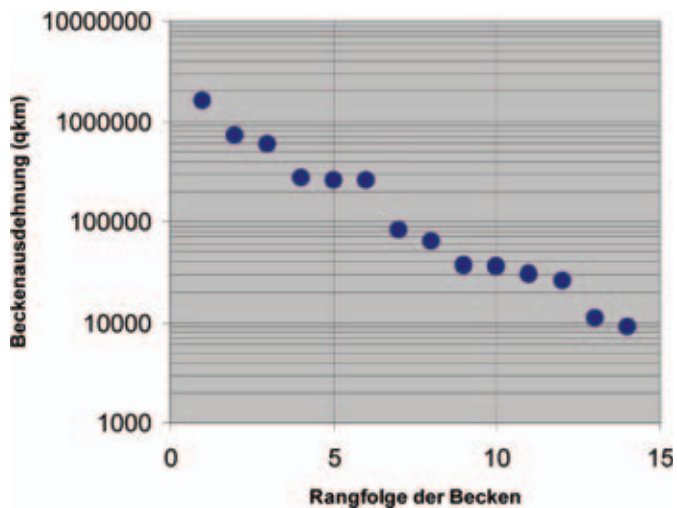


Abb. 6: Rangfolge von Sedimentbecken der Erde mit jurassischem Muttergestein nach der Beckenausdehnung in qkm (nach Klemme 1994, AAPG Memoir 60)

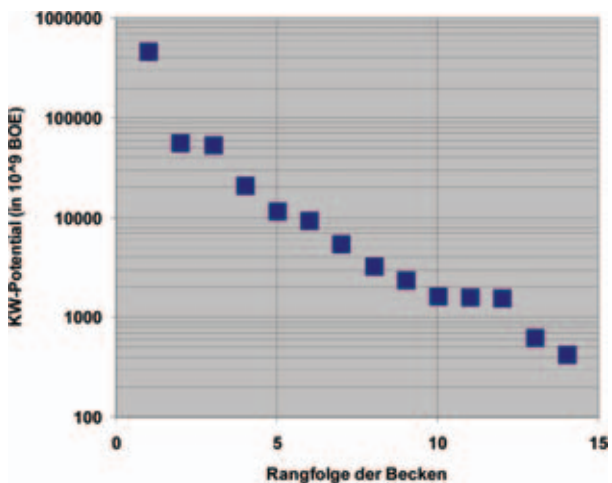


Abb. 7: Rangfolge von Sedimentbecken der Erde mit jurassischem Muttergestein nach ihrem KW-Potential in 10<sup>9</sup> BOE (nach Klemme 1994)

modifiziert ist). Die Flächengrößenverteilung wird sicherlich multiplikativ beeinflusst von Faktoren wie Lebensdauer und Größe einer möglichen initialen Wärmeanomalie, von Gesteinsparametern der betroffenen Kruste sowie Metamorphoseprozessen darin, dem tektonischen Spannungsfeld, der Position innerhalb der wandernden Kontinentalplatten, den Sedimentationsbedingungen u.a. als Funktion von Meeresspiegelschwankungen und der Erosion benachbarter Orogene, der Dichten der

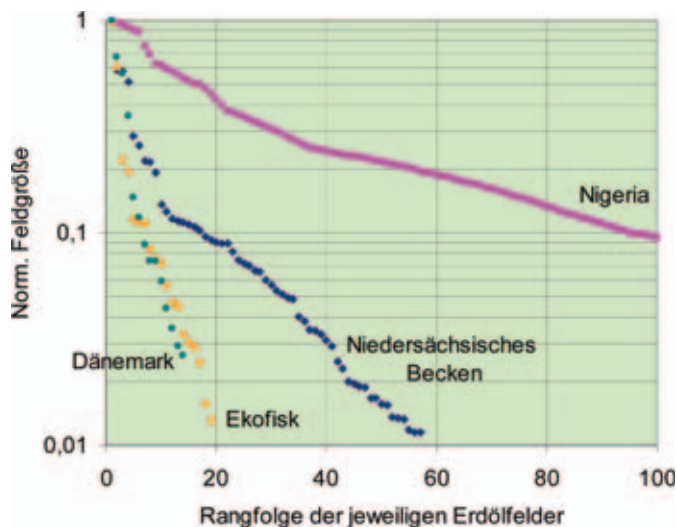
abgelagerten Sedimente (z.B. leichtes Salz, schwere Karbonate), u.v.a.m.. Die KW-Systeme in den jeweiligen Becken werden zusätzlich durch weitere interne becken-spezifische Prozesse beeinflusst.

## 5. Würfelspiel der Erdölssysteme

Publizierte Daten über die Ölfelder einer Region oder über Feldgrößenverteilungen gibt es unter anderem über das Niedersächsische Becken, die Süddeutsche Molasse, das Rheintal, das



**Abb. 8: Feldgrößenverteilung für eine kleine Auswahl verschiedener Erdölregionen der Erde**



Ekofisk-Gebiet in der zentralen Nordsee und über das Niger-Delta in Nigeria. Wie erwartet, zeigt das nigerianische Deltabecken eine geringe Neigung, während das „kontinentale“ (Schelfgebiet!) Riftbecken der Nordsee um Ekofisk herum eine steilere lognormale Steigung aufweist. Die Ölregionen von Niedersachsen und dänischer „Chalk“ ergänzen das Bild über die Varianz der unterschiedlichen Kohlenwasserstoffsysteme (Abb. 8).

## 6. Würfelspiel der Erdgassysteme

Der Versuch, die Erdgassysteme im norddeutschen Becken zu analysieren, liefert das Bild eines Zechstein mit geringer und eines Rotliegenden mit großer Neigung (Abb. 9). Mit dem oben Gesagten bedeutet das, dass die Gasfelder des Rotliegenden durch wesentlich mehr voneinander unabhängige geologische Parameter beherrscht werden als die des Zechsteins. Die heterogene Fazies und die komplexe Diagenese der klastischen Reservoirs des Rotliegenden dürfte dabei die entscheidende Rolle spielen, obwohl auch die karbonatigen Zechsteinreservoirs bedeutende Veränderungen seit ihrer Ablagerung erlebt haben. Im Vergleich zu den Rotliegend-Gasfeldern in UK-Offshore mit einer

geringeren lognormalen Neigung zeigt sich, dass das Rotliegendesystem des norddeutschen Beckens auch innerhalb dieser Formation selbst als sehr komplex eingestuft werden muss.

Die Kompilation aller Kohlenwasserstoffsysteme Deutschlands (Abb. 9) macht noch einmal deutlich, dass die Öl-Systeme in der süddeutschen Molasse und im Rheintal wegen ihrer hohen lognormalen Neigung die komplexesten sind, dicht gefolgt vom Rotliegenden. Das Zechsteinsystem im Norddeutschen Becken und das Ölssystem des Niedersächsischen Beckens zeigen eine geringere Komplexität. Die Öl-Systeme gelten als matur. Ihre Analyse erscheint damit endgültig. Für die beiden Gas-Systeme können nur noch entscheidende neue Funde den Gesamtverlauf der Kurven ändern, was eine Verringerung der Neigung bedeuten müsste und damit eine Re-Analyse erforderlich machen würde.

## 7. Bewertung

Die für die analysierten KW-Systeme ermittelten exponentiellen Alpha-Werte und die daraus abschätzbare Minimalanzahl entscheidender Parameter belegt deutlich die Unterschiede der analysierten KW-Systeme (Abb. 10). Leitet man aus dem Würfelversuch eine Abschätzung der

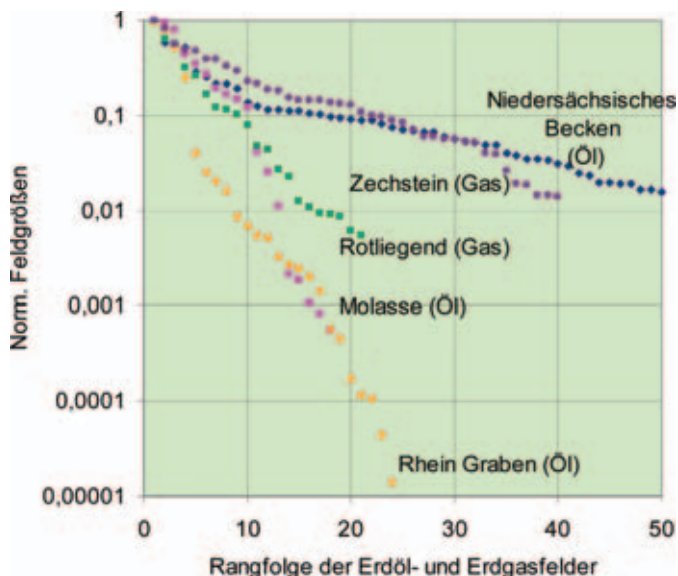


Abb. 9: Feldgrößenverteilungen von Kohlenwasserstoffsystemen Deutschlands

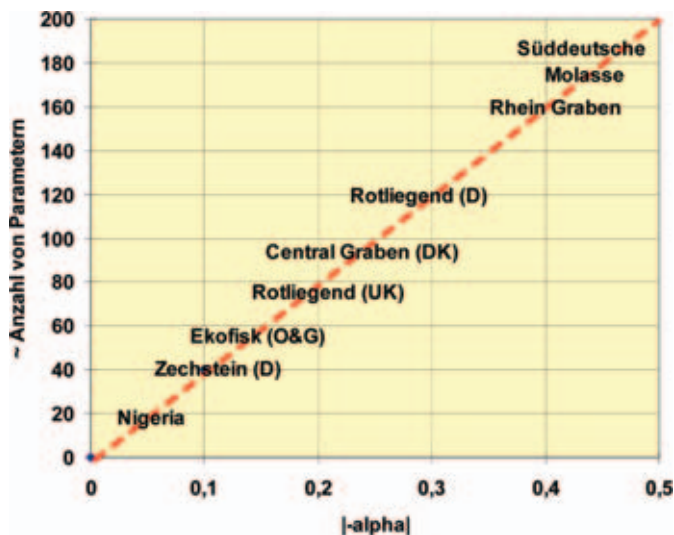
Anzahl der entscheidenden geologischen Parameter ab, so wird das System in Nigeria von etwa 20, dass der süddeutschen Molasse von etwa 200 bestimmt. Die anderen hier erwähnten Systeme liegen irgendwo dazwischen. Die Anzahl der Parameter eines Systems hat sicherlich auch Einfluss auf die Vorhersagbarkeit. Die Mitglieds-Eigenschaften von Systemen mit geringer Parameteranzahl werden leichter abzuschätzen sein als die von komplexeren Systemen mit hoher Anzahl. Über eine mathematische Vereinfachung lässt sich eine Beziehung zwischen dem exponentiellen Alpha-Faktor und der Fündigkeitsrate eines KW-Systems ableiten. Sei  $A_{\max}$  das größte Feld,  $A_{\min}$  der kleinste noch wirtschaftliche Fund,  $x_{\min}$  die Anzahl der Felder und  $x_{\max}$  die Zahl der Explorationsbohrungen, so wird die Fündigkeitsrate dem Produkt von Exponentialfaktor der Verteilung und  $x_{\max}$  umgekehrt und dem Logarithmus von  $A_{\max}$  über  $A_{\min}$  direkt proportional. Komplexere Systeme benötigen sicherlich einen höheren geowissenschaftlichen Aufwand zu ihrer Analyse als einfache Systeme. Der Analyseaufwand wird damit, wen sollte es verwundern, eine Funktion von

Komplexität und Erdölpreis. Je höher der Ölpreis ist, desto größer kann die Komplexität eines zu analysierenden KW-Systems sein.

## 8. Geophysik zur Würfelspielanalyse

Bei der Analyse von Sedimentbecken zu assistieren und zum Teil ins Unbekannte vorzustoßen, ist unter anderem eine der Aufgaben der Geophysik. Auf ihre Verfahren wird zurückgegriffen, will man Zufallsannahmen einschränken und Bohrprojekte auf eine Basis stellen, die mit Naturgesetzen nachprüfbar ist. Die Geophysik soll für die Exploration eine bessere Abschätzung und für die Produktion eine genauere Kartierung entscheidender Lagerstättenparameter ermöglichen. Wichtig sind vor allem strukturelle Parameter wie Tiefe, horizontale Ausdehnung und vertikale Erstreckung eines Prospektes oder gefundenen Feldes. Sie bestimmen die Randbedingungen des Gesteinsvolumens, das für die Speicherung von Kohlenwasserstoffen zur Verfügung steht. Heute können solche Strukturen im Untergrund relativ genau mit 3D-seismischen Verfahren erkundet und aufgelöst werden. Um aus der seismisch gewonnenen

Abb. 10: Exponentialfaktor und Abschätzung der Anzahl unabhängiger Parameter für verschiedene KW-Systeme



Laufzeitdarstellung einer Struktur deren Tiefenlage bestimmen zu können, ist die Abschätzung bzw. Berechnung der seismischen Geschwindigkeiten unbedingte Voraussetzung. Dies geschieht u.a. mit Hilfe bohrlochgeophysikalischer Messungen und den Geschwindigkeitsbestimmungsmethoden aus dem Prozessing der reflexionsseismischen Daten. Aus den seismischen Amplituden der Speicherhorizonte und über seismische Inversionsverfahren lassen sich in interpretativen Schritten des seismischen Prozessings Anhaltswerte für die Verteilung von Porositäten innerhalb des potentiell kohlenwasserstoffhaltigen Gesteinsvolumens ermitteln, ein wichtiger Parameter für die genauere Berechnung der Menge gespeicherten Erdöles oder Erdgases. Seismische Amplituden und Inversionen tragen auch zur Klärung geologischer Modelle wie z.B. der Reservoirverbreitung bei oder schränken diese ein. So lassen sich unter Umständen auch Abbilder alter Flusssysteme, möglicher Impaktkrater, ungeklärter Lineamentstrukturen, oder einer Kompartimentalisierung eines gasführenden Speichergesteins aus einer flächenhaften Darstellung 3D-seismischer Amplituden oder anderer seismischer Attribute gewinnen. Da Temperatur und Druck ebenfalls

einen Einfluss auf die Mengenberechnung gespeicherter Kohlenwasserstoffe haben, werden seismische Ergebnisse auch zu deren Bestimmung herangezogen. Der Gesteinsdruck ist u.a. von der Gesteinsdichte und den zugehörigen seismisch definierbaren Formationsmächtigkeiten und die Temperatur von den Wärmeleitfähigkeiten dieser Formationen abhängig. Im glücklichen Fall kann über die seismische Erkennung des Erdöl- oder Erdgaskontaktes mit dem darunter liegenden Lagerstättenwasser die Existenz einer Kohlenwasserstoffsäule nachgewiesen und deren genaue Höhe bestimmt werden. Aus der unter Berücksichtigung vorhandener Bohrdaten seismisch ermittelten räumlichen Teufenlage entscheidender geologischer Formationsgrenzen werden Rahmenbedingungen für eine Beckenmodellierung vorgegeben, die aus der Versenkungs- und Temperaturgeschichte bei vorgegebenen geochemischen Werten für ein Kohlenwasserstoffmuttergestein die Genese-geschichte für Erdöl und Erdgas ableitet. Mit dieser Modellierung wird versucht, die bei der Generation, Migration und Speicherung wirkenden Naturgesetze zu berücksichtigen und für eine Projektplanung die Wirkung des Zufalls und die daraus folgende Unsicherheit, ob z.B. in einem

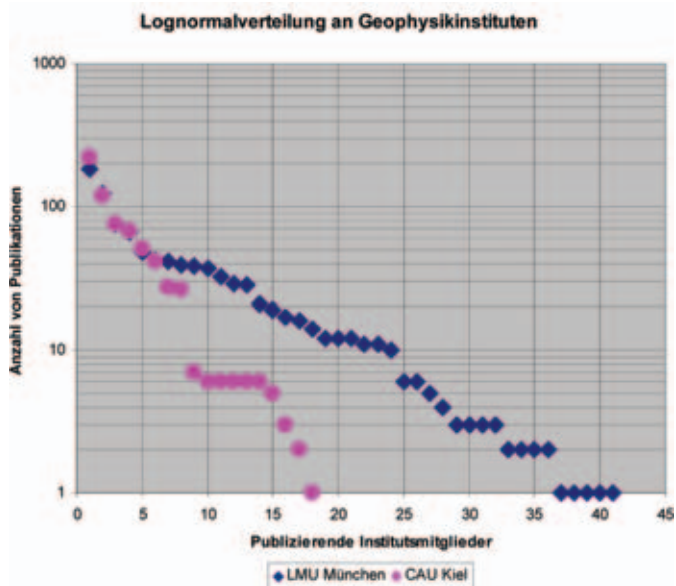


Abb. 11: „Soziale“ Lognormalverteilung der Publikationsanzahl von Mitarbeitern zweier universitärer Geophysikinstitute in Deutschland

bisher nicht erkundeten Gebiet wirklich ein existierendes Kohlenwasserstoffsystem vorliegen kann, einzuschränken.

## 9. Lognormalverteilungen in wissenschaftlichen Gesellschaften

Wie schon oben erwähnt, treten auch im sozialen Bereich Lognormalverteilungen auf. Es ist natürlich reizvoll, Lognormalverteilungen gerade in geowissenschaftlichen Gesellschaften aufzuspüren. Die Mitglieder einer wissenschaftlichen Vereinigung repräsentieren eine Untermenge ihres jeweiligen Berufsstandes und stellen ein relativ homogenes soziales System dar. Sie haben z.B. im Falle der Geowissenschaften vermutlich wegen vergleichbarer Neigungen, Fähigkeiten und Erfahrungen Geophysik, Geologie, Geochemie, Mineralogie, Ozeanographie, Meteorologie oder etwas Äquivalentes studiert und werden im Laufe ihrer beruflichen Tätigkeit mit hoher Wahrscheinlichkeit irgendwann Mitglied einer wissenschaftlichen Vereinigung wie z.B. der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft. Jedes Mitglied weist natürlich eine Fülle von eigenen persönlichen Charakteristika auf,

eine messbare mitgliedbezogene Größe wäre aber z.B. die Anzahl der Publikationen, an denen es beteiligt ist. Diese Anzahl ist sicherlich abhängig vom jeweiligen Alter des Mitgliedes, vom wissenschaftlichen Thema, von den erhaltenen Fördermitteln, von eigenen intellektuellen Fähigkeiten, vom politischen und beruflichen Umfeld und natürlich auch vom Glück. Diese Faktoren wirken vermutlich multiplikativ auf jedes Mitglied ein und sollten dann im Endeffekt eine Lognormalverteilung innerhalb eines vorgegebenen Systems ergeben. Über zwei solcher Systeme, die sogar signifikant voneinander abweichen, waren auf den Webseiten der Geophysikbereiche der CAU Kiel und der LMU München gut zusammengestellte Daten von Publikationslisten verfügbar. Das Ergebnis dieser Recherche ist in der Abb. 11 wiedergegeben. Die Graphiken repräsentieren sicherlich nur eine Momentaufnahme der beiden Institute. Vermutlich weisen alle anderen geophysikalischen Universitätsinstitute ebenfalls lognormale Verteilungen auf. Diese Verteilungen werden wesentlich durch die Anzahl der publizierenden Institutsangehörigen sowie durch die höchste individuelle Publika-

tionsanzahl determiniert. Flache oder steile Lognormalverteilungen könnten dann wie im vorliegenden Fall auf unterschiedliche Komplexitäten der jeweiligen Standorte hinweisen.

### 10. Fazit

Prozesse auf der Erde wie die Bildung von Systemen von Erdöl- und Erdgasfeldern sind wie in einem Casino den Würfeln der Natur überantwortet und werden dabei unsichtbar gesteuert von einer Auswahl der Regeln des Spiels, die man als Naturgesetze versteht. Die Komplexität eines Systems bzw. die Differenziertheit seiner „Mitglieder“, die in antropogenen Systemen u.a. denkende, selbstreflektierende, rückkopplungsfähige, streitbare und ehrgeizige auf Rangfolgeänderung bedachte Individuen sind, wird dabei bestimmt durch die Anzahl der einwirkenden Parameter (ggfs. verstärkt durch unterschiedlichste Charaktereigenschaften). Wie beim

Würfelspiel sind auch in der Exploration Glück und Pech, Zufall und Notwendigkeit, Vergangenes und Zukünftiges unlösbar miteinander verbunden, sowohl auf wissenschaftlicher und wirtschaftlicher wie auf individueller und gemeinschaftlicher Ebene. Eben: alea iacta est!

### Literatur mit weiteren Zitaten

*Brink, H.-J. (2000): Vergleichende Analyse von Kohlenwasserstoff-Systemen mit Hilfe ihrer Feldgrößenverteilungen. - DGMK-Tagungsbericht 2000-2, 7–20, ISSN 1433-9013*

*Brink, H.-J. (2003): Kohlenwasserstoffe in Deutschland – die Geophysik als ein Schlüssel für ein Casino der Natur. - Freiburger Forschungshefte C496, 1–13, ISBN3-86012-194-4*

\* Dr. Heinz-Jürgen Brink, Hannover  
0511814674-0001@t-online.de