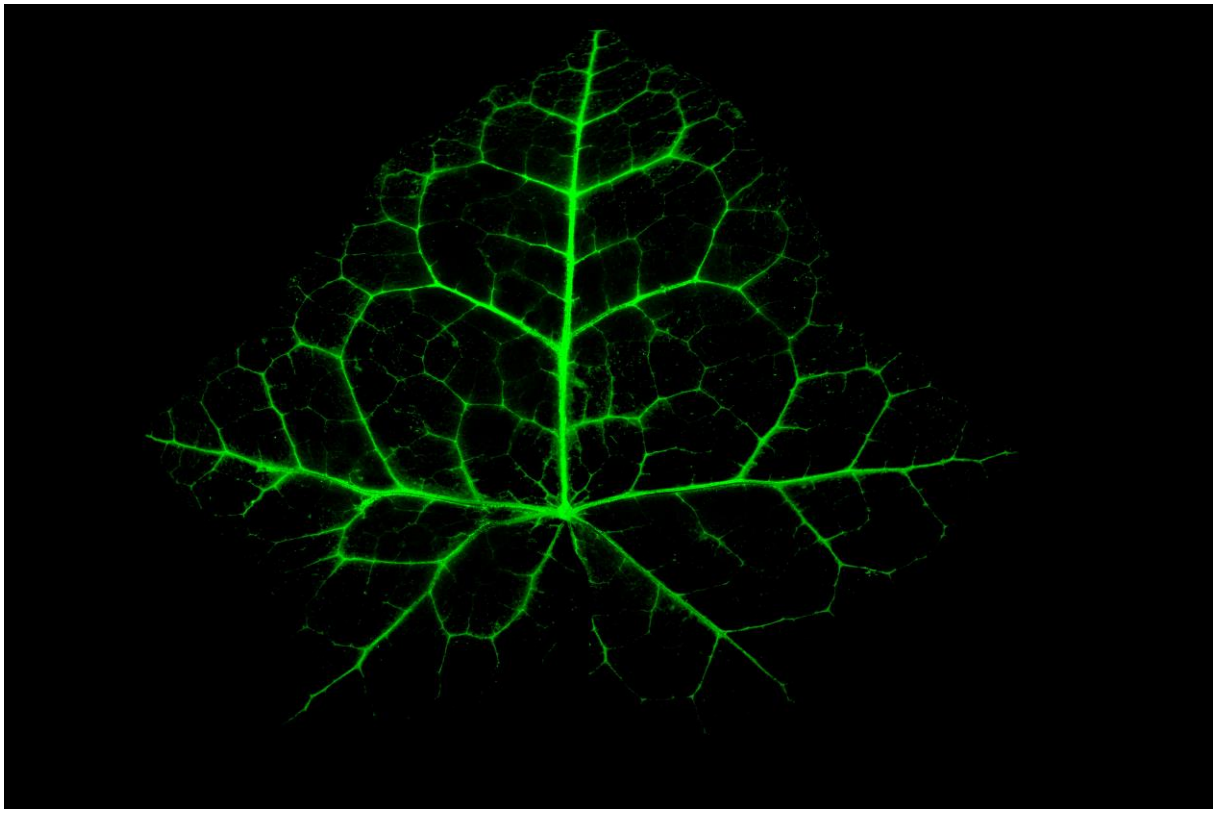
Chaostheorie 2.0



Chaostheorie 2.0

Kurz zu mir. Ich bin ein seit vielen Jahren wissenschaftlich interessierter Laie und habe ein paar Ideen zu einer neuen naturphilosophischen Sicht entwickelt.

Ich beschränke mich an dieser Stelle auf Themen, die möglichst ohne Metaphysik auskommen und dem „Geist der Gegenwart“ entsprechen. Ebenso bediene ich mich ausschließlich an bekannten Wissen. Keine neue Physik aber dennoch insgesamt ein Paradigmenwechsel.

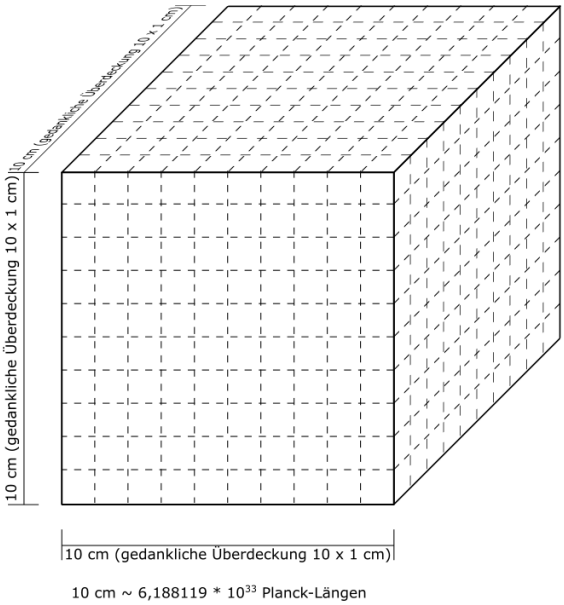
Es handelt sich um einen groben und unvollständigen Abriss. Aufgrund des fehlenden Hintergrund ist es mir nicht möglich mathematische Aussagen zu treffen. Mit links und Bilder wird der Versuch unternommen, zumindest eine Diskussionsgrundlage zu schaffen.

Eine sachliche und ergebnisoffene Diskussion, sowie eine Präzisierung oder Wiederlegung der Hypothese, wäre das Ziel.

1. Euklidische und gebrochene Dimensionen

Benoit Mandelbrot hatte festgestellt, dass die physikalischen Körper und Strukturen der Natur nicht glatt sind (z.B. Küsten, Berge, Wellen, Gesichter, Oberflächen, eine Wolke, Lavaströme, Flussläufe, Netzwerke, Bäume, Wurzeln uvm.). Seine Erkenntnisse wurden in der Chaostheorie, bzw. der Theorie der chaotischen Systeme verfeinert.

Zur Einführung wird ein Beispiel mit einem exakten, vollständig ausgefüllten und euklidisch dreidimensionalen Würfel, in einem Gedankenexperiment herangezogen.



Ein Würfel mit 10 cm Kantenlänge hat ein Volumen von V = 1000 cm^3 und eine äußere Fläche von A = 600 cm^2.

Die 10 cm Kantenlänge entsprechen dem Teilungsfaktor f = 10, denn der Würfel wird in 10 x 1 cm Teilmengen je Achse unterteilt, sodass 1000 sogenannte Überdeckungswürfel entstehen. Somit gilt V = N

Die Dimension D des Würfels wird mittels Boxcounting Methode berechnet.

$$D = -\frac{\log(N)}{\log\left(\frac{1}{f}\right)} = -\frac{\log(1000)}{\log\left(\frac{1}{10}\right)} = 3$$

was der klassischen **ganzzahligen euklidischen Dimension im Raum** entspricht.

Wird aus dem inneren des Würfels ein einzelner Überdeckungswürfel mit dem Volumen 1 cm^3 Würfel herausgenommen, so ändert sich die Gesamtanzahl der Überdeckungswürfel auf N=999. Dem ursprünglichen Würfel fehlt entsprechend ein Volumen von 1 cm^3:

Die Dimension D

$$D = -\frac{\log(N)}{\log\left(\frac{1}{f}\right)} = -\frac{\log(999)}{\log\left(\frac{1}{10}\right)} \approx 2.99956548823$$

Stellt in diesem Fall eine gebrochene und damit keine ganzzahlige, nichteuklidische Dimension dar.

Mittels der Boxcounting Methode können also die Dimensionen euklidischer, wie auch gebrochener physikalische Körper und Strukturen berechnet werden.

Der Teilungsfaktor f bleibt erhalten, auch nachdem ein Würfel entnommen wurde, da alle 3 Achsen des Würfels weiterhin in 10 kleine Würfel unterteilt sind.

Das Volumen des Würfels beträgt nun nur noch 999 cm^3 aber die Gesamtfläche des Würfels erhöht sich um 6 cm^2. Der Würfel ist nicht mehr exakt euklidisch.

2. Planck-Skala Boxcounting

Das obige Beispiel, mit einem Würfel von 10 cm Kantenlänge, klingt willkürlich. Es sollte aber nur der einfachen Beschreibung der Boxcounting Methode dienen.

Einwände können sein, wie mit dieser Methode z.B. eine Kugel vollständig überdeckt werden soll.

Die Einteilung des Köpers muss nicht in Zentimeter erfolgen. Man kann auf die invariante Planck-Länge zurückgreifen und entsprechend jeden physikalischen Körper oder jede physikalische Struktur problemlos im dreidimensionalen Raum mit dem Planck-Volumen abdecken.

$l_p = 1.616 * 10^{-35}$ m (Planck-Länge)
$l_w = 0{,}1$ m (Kantenlänge)
$f = l_w / l_p \approx 6{,}188119 \times 10^{33}$ Planck-Längen (Teilungsfaktor, Kantenlänge)
$V_p = f^3 \approx 2{,}37 * 10^{99}$ Planck-Volumen (Anzahl Planck-Würfel im Würfel mit 10 cm Kantenlänge)

Es gilt wie in Abschnitt 1:

$$D = -\frac{\log(V_p)}{\log\left(\frac{1}{f}\right)} = 3$$

Auch die Überdeckung des Würfels mit dem Planck-Volumen ergibt wieder die **ganzzahlige euklidische Dimension** D=3

3. Natürliche Körper und Strukturen

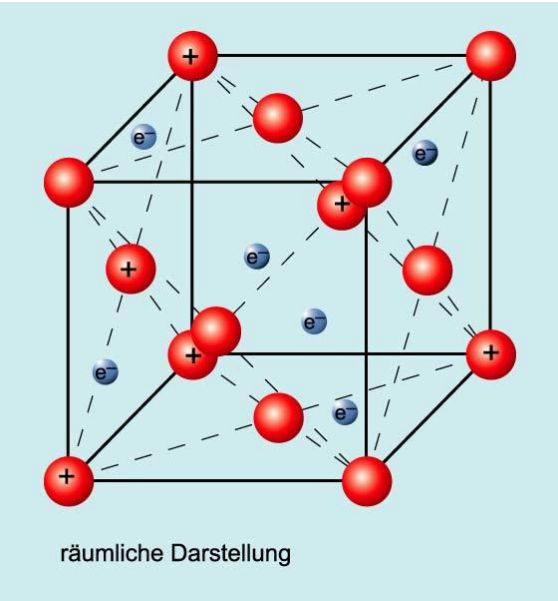
Bei näherer Betrachtung der Berechnungsgrundlagen der Physik fällt auf, dass in wesentlichen Teilen mittels Annäherung und differenzierbarer Kurven gearbeitet wird.

So werden z.B. makroskopische Körper als Kugelförmig, als Quader, Kegel, Pyramiden, glatte Kurven oder entsprechenden Annäherungen und die Quanten als punktförmig beschrieben.

In der Natur existieren aber keine exakt euklidischen, vollkommen ausgefüllten oder unendlich kleinen Strukturen. So stellt sich die Frage ob es neben den euklidischen Annäherungen noch weitere Ansätze zur Analyse verschiedenster physikalischer Größen existieren könnten.

Beispiel:

Man stelle sich den Würfel aus Abschnitt 1 als metallisch, geometrisch perfekt und massiv vor. Die Kantenlänge war 10 cm. Nimmt man ihn in der Hand, so erscheint er massiv (lückenlos), schwer und vollkommen euklidisch dreidimensional.



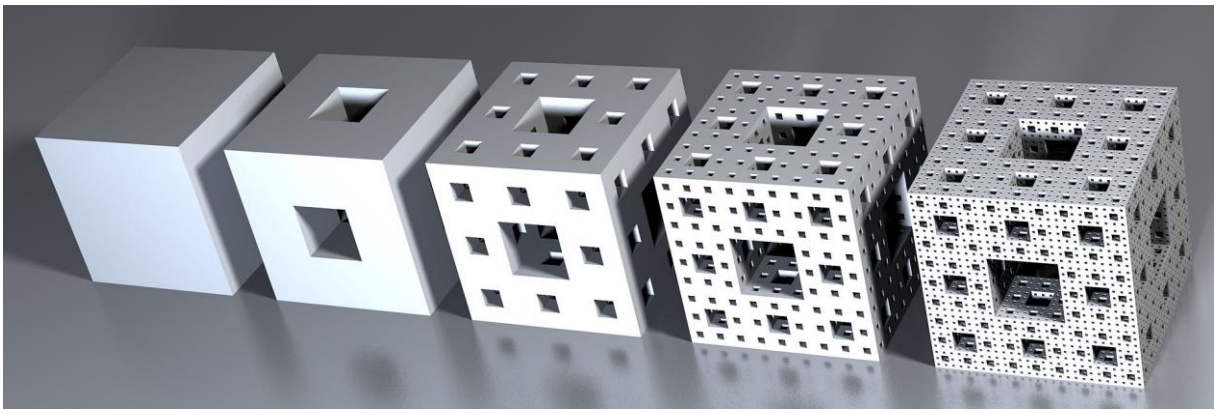
Spätestens aber bei Vergrößerung auf atomarer Ebene ändert sich das Bild, denn zwischen den im Metallgitter angeordneten Atome bewegen sich Elektronen fast vollkommen frei, im sogenannten Elektronengas (modellhafte Vorstellung). Zwischen den Atomen befindet sich also ein gewisser Raum. Die Metallatome werden über die Metallbindung aneinandergebunden. Der Würfel ähnelt in diesem Fall aber eher an einen feinmaschigen Schwamm, als an einen massiven Körper.

Wird der Würfel von atomarer Größe auf Teilchengröße vergrößert, so unterteilt er sich erneut, denn jedes Metallatom besteht aus Protonen und Neutronen, die in ihrer Struktur wieder eine Art Gitter abbilden.

Nun kann auch noch bis zur Größe der Quanten vergrößert werden und somit erneut eine Unterteilung in ein Gitter (z.B. über die Planck-Länge, wie in Abschnitt 2) erfolgen.
Jede Vergrößerung stellt dabei eine Iteration dar, welche mittels eines Menger-Schwamm mathematisch modelliert werden kann.

Chaostheorie 2.0

Menger-Schwamm mit Dimension D ≈ 2,727:



Der Würfel und das Atomgittermodell von Metalle dienen wieder als einfaches Beispiel aber im Grunde kann die selbe Herangehensweise auf alle materiellen Körper und Strukturen, also die gesamte Materie angewandt werden.

Die mathematischen Modelle (wie z.B. der Menger Schwamm) sind dabei zu idealisiert, um die Natur genau abzubilden. Der Menger-Schwamm ist z.B. unendlich exakt selbstähnlich aber der Würfel mit seinen Atomen, die Atome mit ihren Teilchen und die Teilchen dann letztendlich mit den Quanten, bilden **keine unendlich exakte Selbstähnlichkeit** ab.

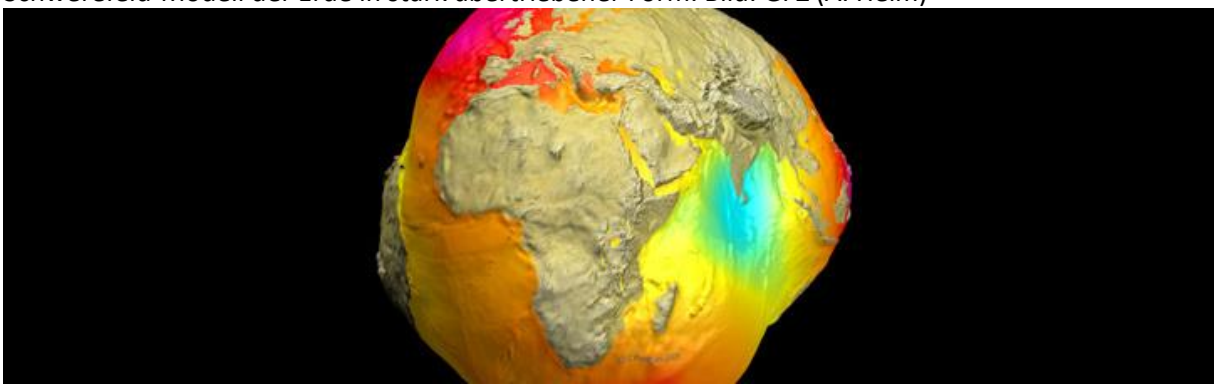
Eine erwähnenswerte Eigenschaft des Menger-Schwamm findet sich auf Wikipedia:

„Menger zeigte 1926, dass die Lebesgue'sche Überdeckungsdimension des Schwamms zur entsprechenden Kurve gleich ist. Sie ist damit eine sogenannte räumliche Universalkurve und ist in der Lage, sämtliche Kurven mit einer Dimension ≥3 darzustellen (→ Homöomorphismus).[4] Beispielsweise lassen sich damit Geometrien der Schleifenquantengravitation in einen Menger-Schwamm einbetten."

4. Geometrie nach Euklid als Grenzfall der Geometrie nach Mandelbrot

Da es in der Natur keine perfekten euklidischen Würfel, Kugeln oder ähnliche Körper gibt, müssten eigentlich alle physikalischen Körper und Strukturen mittels der Geometrie nach Mandelbrot beschrieben werden.
Die Erde ist z.B. nur dank der Atmosphäre und des vielen Wassers annähernd rund. Die Erdkruste bildet aber eher eine Kartoffel, als eine Kugel ab.

Schwerefeld-Modell der Erde in stark übertriebener Form. Bild: GFZ (A. Helm)



Die Sonne ist umgeben von eine Corona, die viel heißer ist als die Oberfläche. Protuberanzen und Teilchenjets schießen aus ihr heraus und ihr inneres ist hochdynamischen Prozessen ausgesetzt. Sie ist somit, wie auch die Erde, topologisch unterschiedlich dicht und strukturiert.
Auf der Erde trägt Erosion und Plattentektonik zum ständigen Wandel der topologischen Schichten bei.

All diese nicht glatten und körnigen Strukturen der Natur können mittels der Geometrie Mandelbrots, der fraktalen Geometrie beschrieben und berechnet werden.

Wie genau die fraktale Dimension in einem speziellen Anwendungsfall berechnet bzw. wie die fraktale Geometrie angewendet werden muss und welches Modell am besten passt, dass hängt von vielen Bedingungen ab und muss individuell festgelegt werden.

Ein poröser Basaltstein kann somit ebenso mittels fraktaler Geometrie beschrieben werden, wie auch das Transport- und Straßennetz, welches wir Menschen erbaut haben und vielen anderen Dingen.
Es geht bei der Betrachtung nicht im Wesentlichen um physikalische Größen, sondern eher darum, wie sich Materie deterministisch im zeitlichen Verlauf und strukturell im Raum aus den physikalischen Prozessen heraus entwickelt.

Kritiker werden sagen, wozu das Ganze? Welchen Vorteil hat man durch eine neue Betrachtungsweise?
Wenn nun alle physikalischen Körper und Strukturen mittels fraktaler Geometrie und unter Zuhilfenahme der Planck-Skala beschrieben werden können, so ist es möglicherweise nicht auszuschließen, dass bekannte und etablierte Modelle der Physik weiter verfeinert oder gar besser beschrieben werden könnten.

Chaostheorie 2.0

Die euklidische Geometrie wäre als Grenzfall der fraktalen Geometrie anzusehen. Die Möglichkeiten neuer Analysemethoden durch die fraktale Geometrie bzw. der Fraktalanalyse sind sehr vielversprechend.

Im Jahr 2021 ging z.B. der Physiknobelpreis z.B. an Chaosforscher. Darunter waren Klimaforscher und Physiker. Die chaostheoretischen Ansätze sind interdisziplinarisch in vielen Bereichen der Wissenschaft übertrag- und anwendbar, sowie möglicherweise seit dem Urknall fundamental physikalisch bestimmend, für die zeitliche Entwicklung des Universums.

Als Beispiel eine medizinische Anwendung der Fraktalanalyse:
Genauere Krebsdiagnose durch Fraktalanalyse, Spektrum

Des Weiteren ist es möglich Aufgrund von Topologie, Dichte und Struktur z.B. ganze Himmelskörper mittels fraktaler Geometrie zu beschreiben. So wird z.B. die Erde von ihren äußersten Schichten der Atmosphäre zum Kern hin immer dichter. Die physikalischen Größen sind dabei stets Änderungen unterworfen, da die Erde ein sehr aktiver Planet ist und einem entsprechenden chaotischen Wandel, im zeitlichen Verlauf unterlegen ist.

Würde dagegen z.B. der Mond mittels fraktaler Geometrie analysiert, so wäre seine fraktale Dimension, im Vergleich zur Erde, viel geringeren Änderungen unterworfen.

Chaostheorie 2.0

5. Chaos und Ordnung, ein einfaches Beispiel

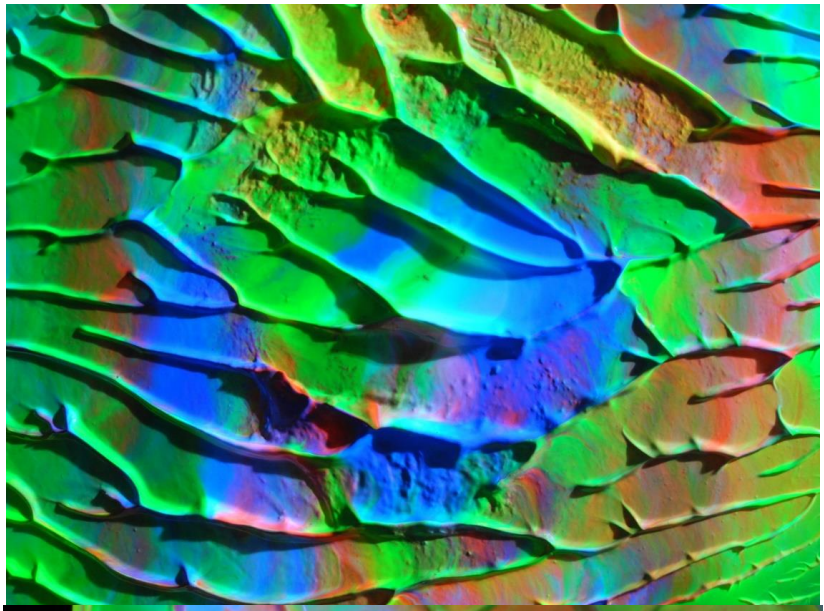
Der Vorteil in der Chaostheorie liegt darin, dass es sich um keine neue Theorie handelt und sie im Makro-, Meso-, Mikro- und Nanokosmos wissenschaftlich untersucht werden kann. Sie ist eine Theorie direkt aus der Natur und versucht die Dinge zu beschreiben, wie wir sie messen, sehen und erkunden können.

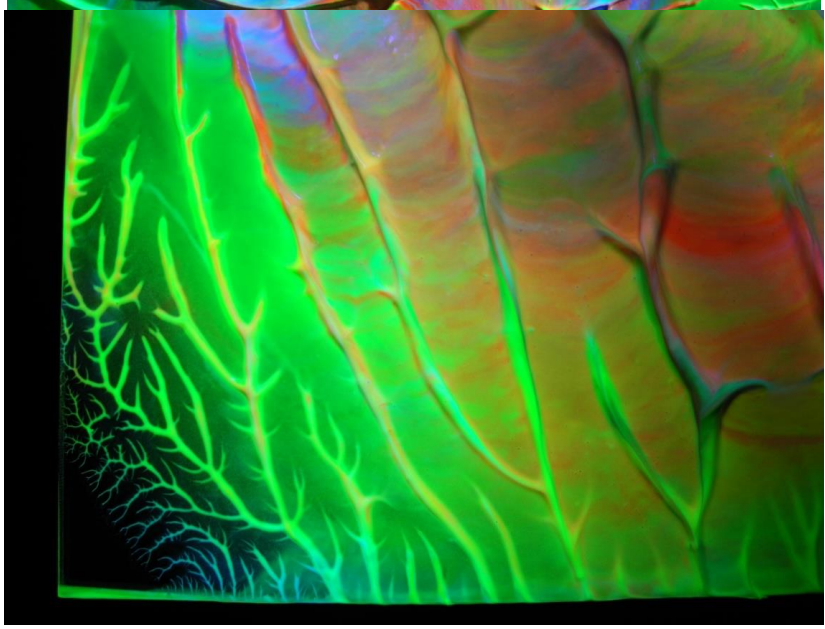
Dabei ist es unerheblich ob die Strukturen von Wolken, dem biologische Wachstum, Strömungen von Gasen und Flüssigkeiten oder von Großstrukturen im Universum betrachtet werden. Es gibt kein Aspekt in der Natur, der nicht mittels der deterministisch chaotischen Systeme und den fraktalen Dimensionen beschrieben werden könnte.

Es ist sogar sehr einfach dem Chaos auf der „Spur“ zu kommen und dabei grundlegende physikalische Gesetzmäßigkeiten in einem neuen Licht zu betrachten.

<u>Im Folgenden dazu ein einfaches Beispiel und eine kurze Beschreibung eines Selbstversuchs:</u>

- Benötigt werden 2 kleine glatte Acrylplatten und etwas Acryl-Künstlerfarbe (eher dickflüssig).
- Auf die 1. Platte wird die Farbe verteilt, bis die Schicht ca. 3-5 mm dick ist.
- Nun die 2. Platte auf die Farbe und bündig zur 1. Platte mit gleichmäßigen Druck andrücken, bis alle Lücken ausgefüllt sind und die Farbe leicht aus den Seiten herausquillt.
- Dann sofort an einer Ecke oder einer Kante die Platten mit gleichmäßigen Zug auseinanderziehen
- Es bildet sich eine verzweigte Struktur aus "Adern", welches statistisch reproduzierbar aber niemals identisch und somit chaotisch ist





Es ist ein leichtes zu erkennen, dass sich aus der so erzeugten Struktur physikalische Größen wie z.B. die aufgewendete Kraft ableiten lassen. Die Dicke, Form und Höhe, sowie die Umfänge bzw. den Flächen zwischen den Adern, stehen direkt für die dort aufgetretene Kraft.

Welche Kraft wird dort abgebildet und warum verzweigt sich diese in eine chaotische Struktur? Wieder ist es möglich mittels fraktaler Geometrie genau diese Struktur zu analysieren.

Chaostheorie 2.0

Da es sich um nicht-kovalente Bindungskräfte und damit vor allem der Adhäsion (Bindung zwischen der Moleküle der Farbe und Platten, Grenzschicht) und der Kohäsion (Bindung der Moleküle innerhalb der Farbe) handeln muss, ist das Ganze auf physikalisch technische Anwendungen übertragbar. Die Struktur entsteht dabei vor allem durch die Viskosität der Farbe und der relativ großen Fläche. Die Adhäsion und die Kohäsion sind den Van der Waals Kräften zuzuordnen, ohne die es z.B. keine Aggregatzustände gäbe.

Im Grunde handelt es sich aber um einen der wichtigsten technisch genormten Werkstoff Test, dem Zugversuch.

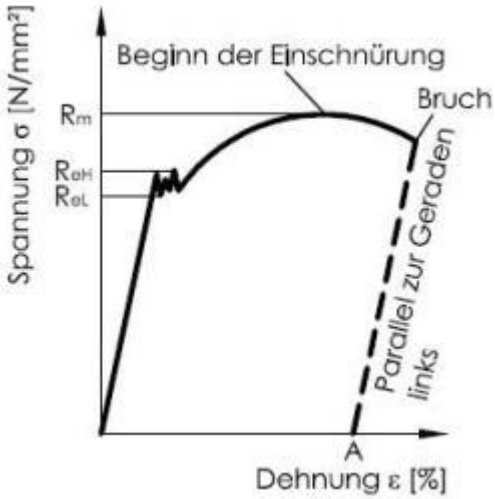
Zum Beispiel werden Metallische Werkstoffe bei technischen Prüfverfahren einem sehr ähnlichen Test unterzogen, um deren Zugfestigkeit bzw. die Mindestbruchkraft zu ermitteln.

Werkstoff nach einem Zugversuch, die Bilder und Diagramme kommen von:

Chaostheorie 2.0

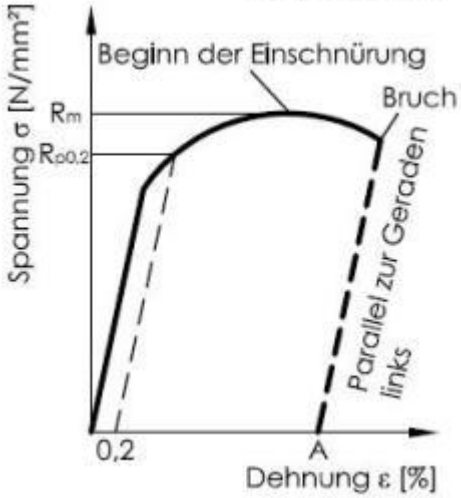
Bei den Bruchstellen der metallischen Werkstoffe sind, wie bei der Farbe, ebenfalls "Adern" zu sehen. Aufgrund der wesentlich geringeren Fläche konzentrieren sich die Kräfte aber in entsprechend kleinen Bereichen und das Muster ist somit eher einfach.

Dabei ist die elastische Dehnung (der Werkstoff geht wieder in die Ursprungsposition zurück linear ansteigend, bis zum Punkt der plastischen Dehnung (bei der irreversible Verformungen entstehen, die zum Bruch führen) und ab der die Kräfte sich chaotisch im Werkstoff verteilen.



Das obere Diagramm stellt eher weichen und das untere Diagramm eher vergüteten Stahl dar.

Mittels fraktaler Analyse der Bruchstellen könnten genauere Aussagen zu den wirkenden Kräften getroffen und die Werkstoffe ggf. noch verbessert werden.



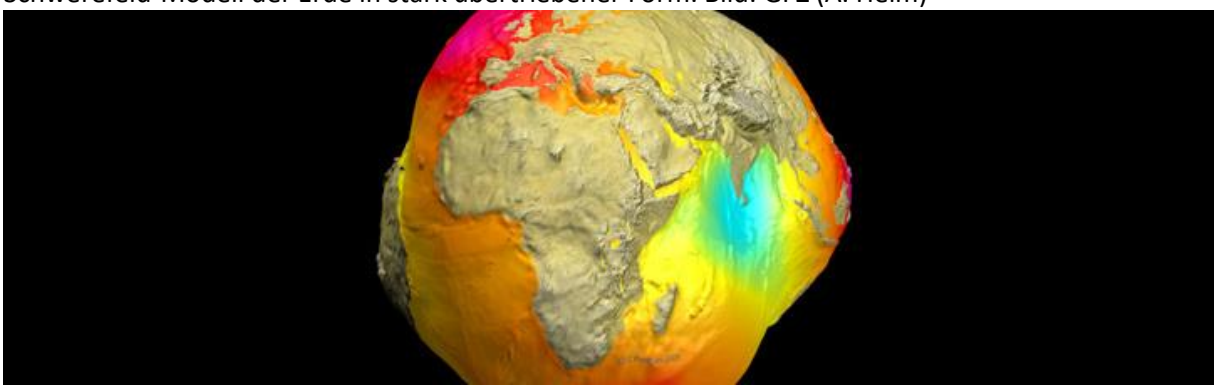
6. Das Mehrkörperproblem

Das Mehrkörperproblem bzw. die exakte Berechnung von Bewegungsbahnen gestaltet sich äußerst schwierig. Nach anfänglichem guten übereinstimmen zwischen den Berechnungen und den Beobachtungen, laufen die Werte immer weiter auseinander, je weiter die Zeitentwicklung voranschreitet. Komplizierte Bahnen mit mehreren Körpern können nur mit iterative Berechnungen gelöst werden. Das Mehrkörperproblem der allgemeinen Relativitätstheorie ist dabei noch um einiges schwieriger zu lösen. Hier soll sich aber nur auf das klassische Mehrkörperproblem beschränkt werden

Die Berechnungsgrundlage sind bei allen Methoden die idealisierten Punktmassen und die entsprechenden Radien zwischen den Punktmassen. Die Radien zwischen den Körpern müssen also immer genau den Abstand der Punktmassen entsprechen.

In Abschnitt 3 wurde erläutert, dass alle physikalischen Körper und Strukturen mittels fraktaler Geometrie analysiert werden können. Die Erde ist z.B. in ihrer Masse und damit ihrer gravitativen Wirkung nicht gleichmäßig verteilt. Die Erdkruste ähnelt eher einer Kartoffel, was sich im Schwerefeld Modell wiederspiegelt.

Schwerefeld-Modell der Erde in stark übertriebener Form. Bild: GFZ (A. Helm)



Man kann stark davon ausgehen, dass die Unregelmäßigkeit der Erde im Grunde nichts Besonderes ist. Denn kein natürlicher Körper ist euklidisch perfekt oder homogen verteilt. Wenn nun aber für die Berechnungen der Bewegungsbahnen immer der idealisierte Massepunkt des Körpers genutzt wird, so ist dieser Massepunkt bzw. der Radius zwischen den Massepunkten nicht exakt definierbar.

Allein durch die Unregelmäßigkeit kann also geometrisch von keinem punktuellen bzw. statischen Zentrum gesprochen werden. Vielmehr müsste der Massepunkt dynamisch berechnet werden und entsprechend in den Berechnungen der Bewegungsbahnen mit einfließen.

Von den chaotischen Systemen wissen wir, dass winzige Änderungen der Anfangsbedingungen den weiteren zeitlichen Verlauf stark beeinträchtigen, was als Schmetterlingseffekt bekannt wurde. Wenn nun schon in den Anfangsbedingungen ein nicht exakter Massepunkt gesetzt wurde, so ist das genau die bzw. eine der winzigen Änderungen der Anfangsbedingung, die den weiteren Verlauf stark beeinflussen.

Würde die topologische Dichte der Körper mittels fraktaler Geometrie (Fraktalanalyse) analysiert, so könnte der Fehler im Mehrkörperproblem durch genaueres (oder gar dynamisches) setzen der Massezentren weiter reduziert werden. Ebenso müssen dekohärent wirkende Einflüsse, wie z.B. die

Gezeitenkräfte, mitberücksichtigt werden, da diese den Massepunkt verschieben können. Da aber niemals alle möglichen Einflüsse erfasst werden können, wird der Fehler beim Mehrkörperproblem auch niemals 0 sein.

7. Deterministisch chaotische Systeme und die Stochastik

Ein wichtiger Faktor bei den chaotischen Systemen ist der Determinismus, also die logische Abfolge von Ursache und Wirkung (Kausalität) im zeitlichen Verlauf. So können im Sinne des klassischen Chaos alle makroskopischen Zustände im Universum, in einer Art umgekehrten Determinismus, alle Ursachen und Wirkungen von der Gegenwart, in die Vergangenheit zurück kausal nachvollzogen werden. So kommt man unweigerlich am Anfang des Universums bei t_0, dem Urknall an. Das Prinzip aus Ursache und Wirkung scheint in unserer gewohnten makroskopischen Welt vollkommen (deterministisch) zuzutreffen. In der Quantenmechanik ist das jedoch leider nicht ganz so eindeutig.

Je nach Deutung der QM (Interpretation), spielt die Stochastik eine wesentliche Rolle. Die nicht vorhersagbaren und vom Zufall geprägten Aufenthaltswahrscheinlichkeiten scheinen das Prinzip aus Ursache und Wirkung zu untergraben und der Determinismus wäre damit an dieser Stelle unterbrochen.

Die sogenannte Kopenhagener Interpretation ist maßgeblich auf diesem Konzept der Stochastik aufgebaut. Da die QM gut mit dieser Interpretation funktioniert, gibt es entsprechend viele Anhänger.

Darüber hinaus existiert die Viele-Welten-Interpretation und einige Derivate von beiden Interpretationen. Zusätzlich gibt es eine Vielzahl anderer Interpretationen.

Insgesamt gibt es aber eben auch Probleme, die einfach nicht weginterpretiert werden können.

Im Detail kann im Forum astronews.com unter dem Thema „Grundlagenprobleme der Quantenmechanik“ nachgelesen und fachgerichtet diskutiert werden.

Man könnte annehmen, dass wenn doch die Sichtweisen auf die QM auf menschengemachte Interpretationen basieren, diese nicht dem entsprechen müssen, wie wir die Natur beobachten. Für die stochastischen Prozesse der QM könnte es genauso auch verborgene aber vollkommen deterministische Prozesse geben, die für uns einfach nur nicht fassbar sind. So würde es sich nur noch um eine scheinbare Stochastik handeln, die alleine durch die deterministisch chaotischen Prozesse in den physikalischen Systemen hervorgerufen wird.

Herr Prof. Dr. Arnold Neumaier hat dahingehend seine „Thermal Interpretation“ entwickelt, die genau die chaotischen Systeme nutzt und somit mit zusammen mit dem deterministischen klassischen Chaos eine Art Superdeterminismus ermöglicht. Das Prinzip aus Ursache und Wirkung, der Kausalität, wäre somit bis in die Quantenwelt wiederhergestellt.

Details zur Thematik der neuen „Thermal Interpretation der Quantenmechanik“ können ebenfalls im Forum astronews.com nachgelesen und diskutiert werden.

8. Der Welle-/Teilchendualismus

Die deterministisch chaotischen Systeme und die Thermal Interpretation von Herrn Prof. Dr. Arnold Neumaier stellen zusammen eine Hypothese über eine fundamentale Änderung der Sichtweise auf die Natur dar.

Mit der Thermal Interpretation lassen sich die Axiome der QM sehr kurz und einfach verfassen. (Quelle, Forum Quanten.de)

Zitat:

1. *Die Beschreibung eines Quantensystems erfolgt im Rahmen eines separablen Hilbertraumes.*
2. *Der Zustand eines einzelnen isolierten Quantensystems wird durch einen normierten Vektor |q> als Element dieses Hilbertraumes vollständig beschrieben. In vielen praktischen Fällen entspricht dies einer Wellenfunktion.*
3. *Die Zeitentwicklung eines einzelnen isolierten Quantensystems wird durch einen unitären Zeitentwicklungsoperator U(t) beschrieben; diese Regel ist vollständig äquivalent zur Schrödingergleichung.*
4. *Auf dem Hilbertraum existiert eine (unitäre) Darstellung der Poincare-Gruppe; H entspricht dabei dem Generator von Zeittranslationen.*

Wenn also die stochastisch erscheinende Aufenthaltswahrscheinlichkeit aus dem Betragsquadrat der Wellenfunktion im Kern vollkommen deterministisch chaotischer Natur ist, so muss das auch für den Welle-/Teilchendualismus gelten. Das bedeutet es muss möglich sein einen kausalen Zusammenhang zu definieren.

Im Vergleich mit Wasserwellen ist der offensichtlichste Unterschied, dass die Welle im Wasser sich durch individuelle und unterscheidbare Wassermoleküle ausbreitet. Die Wasserwelle breitet sich also in einem Medium aus vielen unterschiedlichen Teilchen aus.

Die Teilchenwelle hingegen besteht nur aus einem einzigen Teilchen, welches in einer Superposition vorliegt. Je nach Experiment kann dann die eine oder die andere Eigenschaft der Teilchenform bzw. der Wellenform untersucht werden. Wie könnte im Zusammenhang mit der Thermal Interpretation und die deterministisch chaotischen Systeme genau dieser Zustand beschrieben werden? Ein Medium wie die Wassermoleküle existiert in der Raumzeit nicht aber dennoch könnte ein „Quasimedium“ für die Ausbreitung der Teilchenwelle verantwortlich sein.

Wenn der Welle-/Teilchendualismus eine Superposition, also einer Überlagerung von Zustände darstellt, dann erfolgt das intrinsisch durch das Teilchen selbst und im Verlauf eines natürlichen Messprozesses im zeitlichen Abstand der Planck-Zeit.
Stets und ständig werden alle betreffenden physikalischen Größen zwischen dem Teilchen und seiner Umgebung durch die Natur „ermessen“ und so verändert sich die Position aufgrund der Dekohärenz der Umgebung und dem Teilchen, zu sich selbst.

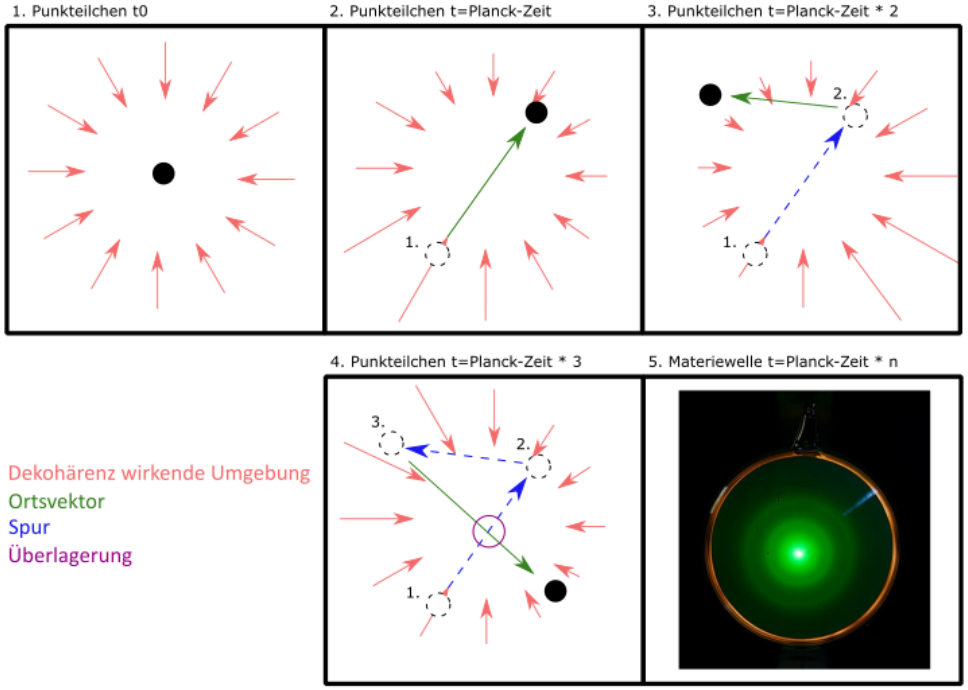
Wie soll das aber funktionieren?
Durch die enorme Geschwindigkeit entsteht ein Bewegungsmuster aus der chaotischen „Spur“ des Teilchens zwischen den einzelnen natürlichen Messungen. Dieses Bewegungsmuster überlagert sich somit innerhalb kürzester Zeit immer wieder aufs Neue und steht als Teilchen bzw. mit dem

Bewegungsmuster aller Spuren zu sich selbst in Superposition. So kann sich die Materiewelle (das Betragsquadrat der Wellenfunktion) als Punktwolke in der Raumzeit ausbreiten.

Dieser Prozess ist wieder mit fraktaler Geometrie abbildbar, denn wenn sich ein Punktteilchen (euklidisch Dimension 0) in der zeitlichen Abfolge der Planck-Zeit in einem begrenzten Bereich und im Rahmen der Axiome der QM in der Raumzeit ausbreitet, so entsteht ein "stehendes Bild", ähnlich wie nicht-flimmernde „bewegte Bilder“ in Film und Fernsehen durch eine schnelle Abfolge von Einzelbilder entstehen. Dabei sind 100Hz Bildwiederholfrequenz ein Bruchteil der Frequenzen der Teilchenspins.

Aus dem euklidisch nulldimensionalen Punktteilchen entsteht ein physikalischer Körper bzw. eine Netzwerkstruktur aus den einzelnen Orten und den Teilchenspuren mit fraktaler Dimension größer 2 und kleiner 3. Es stellt somit eine **nicht-massive**, im dreidimensionalen Raum ausgedehnte Punktwolke dar, das Betragsquadrat der Wellenfunktion. Die stochastische Aufenthaltswahrscheinlichkeit ist somit im Kern vollkommen deterministisch chaotischer Natur. Das Teilchen schafft sich so im Grunde sein eigenes Medium für die Materiewelle im Raum.

Schematische Darstellung des Bewegungsmusters des Welle-/Teilchendualismus im Zusammenspiel mit der Dekohärenz:



Welches Modell der fraktalen Geometrie könnte für die Darstellung des Welle-/Teilchen genutzt werden? Wenn Aufgrund von Bewegungsabläufe und deren Überlagerungen ein Bewegungsmuster aus dem euklidisch nulldimensionalen Punktteilchen entsteht, das sich diffus im Raum ausdehnt, dann kann z.B. das Modell der Koch Kurve oder der Punktwolken herangezogen und mittels Fraktalanalyse analysiert werden. Möglicherweise müssen für bestimmte Anwendungsfälle komplett neue Modelle in der fraktalen Geometrie entwickelt werden.

In der weiteren Betrachtung scheint es Überschneidungen zwischen dem hier beschriebenen Welle-/Teilchendualismus einerseits und der Schleifenquantengravitation andererseits zu geben. Die hier beschriebenen chaotischen Spuren sind, ebenso wie in der Schleifenquantengravitation, nicht

wirklich real. Sie wirken eher wie ein Nachziehen, ähnlich wie bei einem Foto, welches ein bewegtes Motiv zeigt.

So könnte das für die VWI so wichtige Pfadintegral (mit Summe aller Wege) über dieses Spurennetzwerk im Vergangenheitslichtkegel miteinander verbunden sein. So wäre eine Erklärung für die Verschränkung denkbar.

9. Ein Ausblick

Im weiteren Verlauf wären mittels der chaotischen Systeme möglicherweise auch neue Erkenntnisse in der (Schleifen-)Quantengravitation, der Struktur der Raumzeit, der Kosmologie und in der klassischen Physik denkbar. Wissenschaftliche Untersuchungen in dem Bereich sollten ohne enorme Kosten realisierbar sein.
In den letzten Jahrzehnten ist im Hinblick auf die Chaosforschung schon vieles entdeckt und in praktischen Nutzen umgewandelt worden. Gerade der Bereich der Fraktalanalyse hat einige Erkenntnisse in der Medizin und der Klimaforschung gebracht.

Auch in der klassischen Physik und in der Quantenmechanik gibt es schon viele Veröffentlichungen mit vielversprechenden Inhalten. Möglicherweise lässt sich mittels der chaotischen Systeme sogar eine vereinheitlichende Theorie erarbeiten.

10. Ausgewählte Publikationen und Fachartikel

Quantenchaos
https://www.weltderphysik.de/gebiet/teilchen/quanteneffekte/quantenchaos/
https://cordis.europa.eu/article/id/36533-groundbreaking-insights-into-quantum-chaos-in-ultracold-gas/de
https://www.uni-marburg.de/de/fb13/quantenchaos
https://www.math.kit.edu/ianm4/seite/ma-quantenchaos/de

Fraktale Geometrie
https://quadsoft.org/fraktale/
https://www.weltderphysik.de/thema/chaos-und-ordnung/fraktale/
https://www.uni-muenster.de/imperia/md/content/fachbereich_physik/didaktik_physik/publikationen/sch_ne_fraktale_welt.pdf
https://www.uni-ulm.de/fileadmin/website_uni_ulm/mawi.inst.110/mitarbeiter/spodarev/publications/fraktale.pdf

Deterministisch chaotische Systeme
https://www.weltderphysik.de/thema/chaos-und-ordnung/deterministisches-chaos/
https://www.math.uni-sb.de/ag/speicher/vortraege/speicher/Zufall+Chaos.pdf
https://mediathek.htw-berlin.de/getMedium/54a741d6b645276efd57713d365ed490.pdf
https://www.itp.tu-berlin.de/fileadmin/a3233/upload/WS10_11/Mechanik/Dynamische_Systeme_und_deterministisches_Chaos.pdf

Fraktalanalyse (alle in der praktischen Anwendung)
https://analyticalscience.wiley.com/do/10.1002/gitfach.12197/
https://gepris.dfg.de/gepris/projekt/392304398?context=projekt&task=showDetail&id=392304398&https://www.digitalsurf.com/de/optionale-module/multiskalen-fraktal-analyse/
https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27436024/
https://diglib.tugraz.at/download.php?id=5990d179e9fb7&location=browse