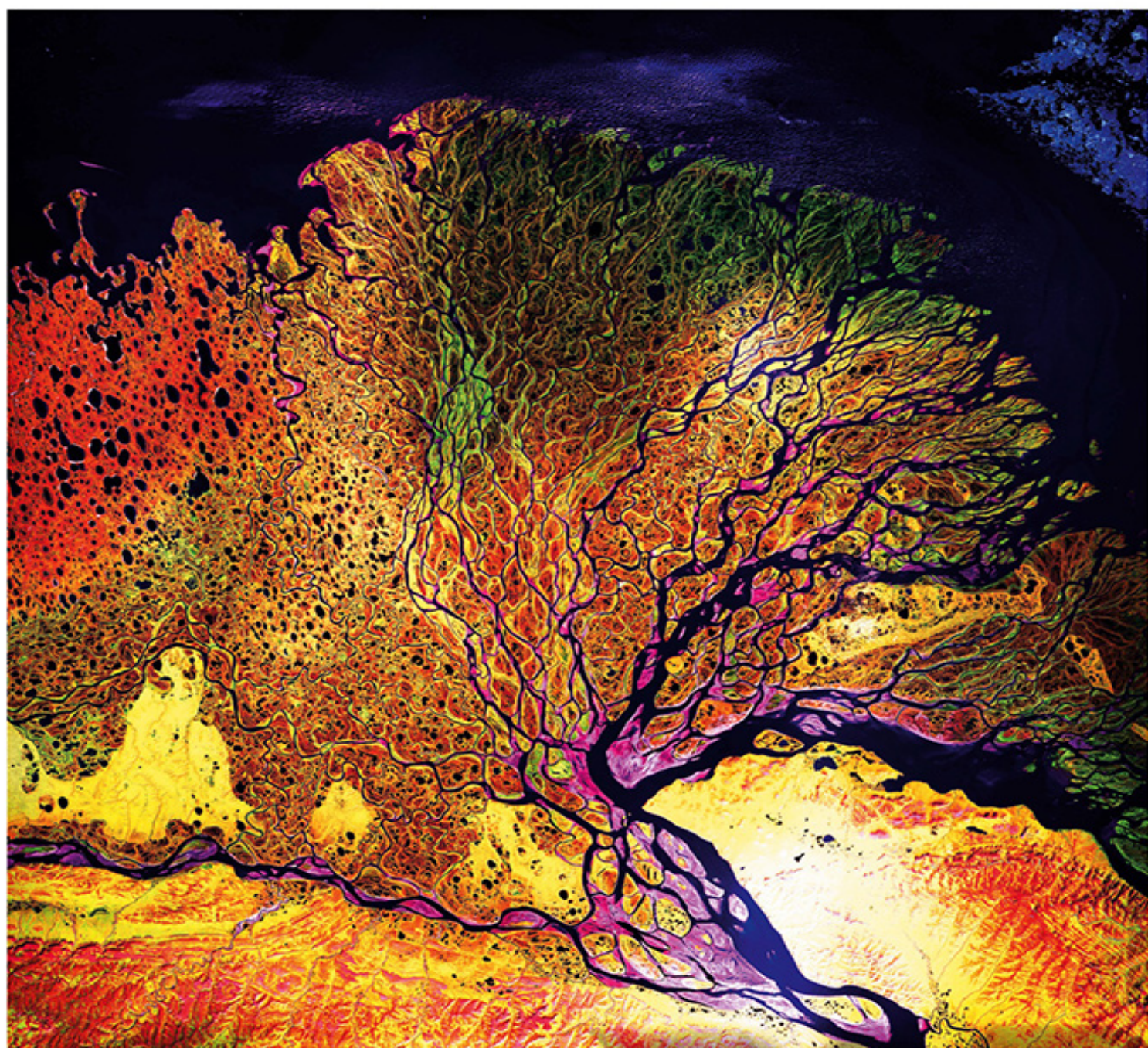


Bernhard Weßling

Anhang zum Buch: Was für ein Zufall!

Über Unvorhersehbarkeit, Komplexität und das Wesen der Zeit





Bernhard Weßling

Was für ein Zufall!

Über Unvorhersehbarkeit,
Komplexität und
das Wesen der Zeit

SACHBUCH

 Springer

Dieser Anhang liefert etwas tiefer gehende Erläuterungen zu den einzelnen Kapiteln des Buches von

Dieser Ausdruck ist eine geringfügig für Zwecke des besseren Drucks umformatierte Version der auf <https://link.springer.com/gp/book/9783658377540> online verfügbaren Fassung des Anhangs. Auf den folgenden drei Seiten werden zunächst die Kapitel des eigentlichen Buches kurz zusammengefasst und eingeführt, danach ist das Inhaltsverzeichnis mit den einzelnen Anhängen von 1 - 15 zu finden.

Kurzeinführungen in die einzelnen Kapitel

Vorwort

Ein Überblick über die Fragestellungen, die im Buch behandelt werden. Es wird um komplexe Strukturen und Wechselwirkungen in dynamischen Systemen gehen. Wir werden in Biochemie, Evolution, Kolloidchemie und -physik, in Astronomie, Kosmologie, Quantenphysik und Philosophie hineinschauen. Zugleich ist das Buch eine erste qualitative Heranführung an die Grundzüge der Nicht-Gleichgewichts-Thermodynamik.

Kapitel 1: Der Zufall nimmt seinen Lauf

Der Autor schildert zahlreiche Zufälle, die seinen Weg in die Wissenschaft, in die Grundlagenforschung öffnen, in einem kleinen Unternehmen, das er schon sehr früh als Geschäftsführer und Gesellschafter verantwortet. Diese Zufälle führen ihn immer tiefer in wissenschaftlich zuvor wenig beachtete Gebiete. Dort warten überraschende Phänomene auf ihre Entdeckung.

Kapitel 2: Der Zufall ist überall

Anhand von zahlreichen Beispielen aus der neueren Zeit (Corona-Pandemie), der wissenschaftlichen Forschung, der Technologie, der Wirtschaft, der Geschichte und der Politik kann man erkennen: Es sind die sogenannten *essenziellen Zufälle*, die den Lauf der Geschichte bestimmen, und das in allen Aspekten des Lebens und der Natur, v. a. der Evolution. Wir beschäftigen uns auch mit bisher von anderen Autoren aus Physik und Philosophie vorgelegten Erklärungen über die Ursachen des Zufalls. Davon abgegrenzt wird der *essenzielle Zufall*.

Kapitel 3: Kreativität ist Zufall im Gehirn

Zufall findet ständig auch in unserem Gehirn statt. Es gibt ernstzunehmende wissenschaftliche Erkenntnisse, die „Zufallsgeneratoren im Gehirn“ nahelegen. Vielen teilweise berühmten Menschen sind grundsätzliche Erkenntnisse, Entdeckungen und Erfindungen im Traum oder in Situationen gelungen, in denen sie nicht bewusst über das zu lösende Problem nachdachten. Dem Autor gelang die Auflösung eines rätselhaften und zuvor unbekannten Phänomens ebenfalls in einer Situation, in der systematisches logisches Denken nicht möglich war. Auch das Phänomen der Improvisation, vor allem bekannt aus der Jazzmusik, ist nachweislich nur möglich, wenn Kontrollmechanismen des Gehirns wie im Traum ausgeschaltet sind, so dass der Zufall freien Lauf hat.

Kapitel 4: „Gleichgewicht ist gut, Nicht-Gleichgewicht ist schlecht“ - stimmt das?

Die bisher weit verbreiteten Vorstellungen von *Gleichgewicht* werden diskutiert, auch der Begriff *Fließgleichgewicht*. Auf leicht verständliche Weise wird die Entropie erklärt und wieso trotz des 2. Hauptsatzes der Thermodynamik („stetiger Anstieg der Entropie im Universum“) komplexe Strukturen entstehen können. Damit lernen wir die Grundzüge der Nicht-Gleichgewichtsthermodynamik kennen. Wir verstehen, dass alles um uns herum und wir selbst Nicht-Gleichgewichts-Systeme mit dissipativen Strukturen sind. Sonst wäre auch Mayonnaise nicht steif. „*Gleichgewicht* bedeutet für Organismen Tod und Verfall.“ (Ludwig von Bertalanffy, Begründer des Begriffes *Fließgleichgewicht*)

Kapitel 5: Fast an der Wissenschaft verzweifelt

Erstaunlicherweise ist die Nicht-Gleichgewichtsthermodynamik an Universitäten und im Studium kaum präsent, geschweige denn sonst in der Gesellschaft. Dies,

obwohl die Begründung für den Nobelpreis 1978 an Ilya Prigogine klar darlegt, wie wichtig diese Theorie für das grundlegende Verständnis unserer Welt ist. Den meisten revolutionär neuen Erkenntnissen der Wissenschaft erging es ähnlich. Ganz anders war die viel kompliziertere Relativitätstheorie schnell anerkannt und steht seither oft und auf vielfältige Weise im Zentrum auch populärwissenschaftlicher Artikel und Bücher. Für die unterschiedliche Akzeptanz neuartiger Ideen hat Thomas Kuhn eine Erklärung in seinem Buch *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen* vorgelegt: das *Paradigma*, auf dessen Basis die Wissenschaftler arbeiten.

Kapitel 6: Die Geburt des Zufalls in komplexen Systemen

Anhand charakteristischer Beispiele aus der Biologie (Biochemie, Evolution), dem Wetter, Klimageschehen, komplexen Netzwerken und der Kosmologie („Urknall“) wird die Dynamik und Nicht-Linearität von Nicht-Gleichgewichtssystemen näher beleuchtet. Es wird klar, dass höhere Organisationsebenen der Materie ihre eigenen, im Vergleich zu niedrigeren Ebenen neue Gesetze entwickeln. *Emergenz* von Eigenschaften und Gesetzen ist ein wichtiger Aspekt. Das *nicht-lineare* Verhalten dieser komplexen Systeme ist die Ursache für das Auftreten des Zufalls. Abschließend erklärt uns das Phänomen der *Dekohärenz*, warum die Quanten (Elementarteilchen) mit ihrer Unbestimmtheit den Zufall in der makroskopischen Welt nicht bewirken können.

Kapitel 7: Was fließt da, wenn die Zeit fließt, und wohin fließt sie?

Zuerst wird diskutiert, was verschiedene Physiker über die Zeit denken: Ist sie eine Illusion? Bedeutet die Zeitlosigkeit der Quanten, dass es die Zeit nicht gibt? Kann sich der Zeitpfeil umkehren? Leben wir in einem von vielen Universen? Wir denken dann darüber nach, was die

Formulierung „die Zeit vergeht“ bedeuten könnte. Es wird erläutert, dass die Zeit nicht *fließen* und nicht *vergehen* kann. Schließlich wird eine neuartige Hypothese vorgestellt, die die Zeit als emergentes Phänomen durch den Fluss der Entropie beschreibt. Diese neue Hypothese ist experimentell überprüfbar.

Kapitel 8: Unsere Wahrnehmung der Zeit

Es ist wichtig zu verstehen, dass unsere Wahrnehmung nichts damit zu tun hat, was das Wesen der Zeit ist, ebensowenig wie unsere Wahrnehmung von Farbe etwas mit der Natur des Lichts oder die von Klang mit der Natur des Schalls. Wir lernen kennen, wie der Körper Rhythmen organisiert, was für *Uhren* die Zellen haben und wie und wo das Zeitempfinden im Gehirn stattfindet. Zum Schluss wird erläutert, warum viele Menschen im Alter die Zeit als immer schneller *vergehend* empfinden. Eine enge Verbindung zum Wesen der Zeit (siehe Kapitel 7) wird deutlich.

Schlussbemerkungen

Kurze zusammenfassende Diskussion.

Anhang

In den folgenden Kapiteln des Anhangs wird es ebenfalls allgemeinverständlich zugehen. Ich habe nicht vor, Sie mit diesen Texten zu Experten der verschiedenen Fragestellungen zu machen. Wir steigen aber ein kleines bisschen tiefer ein als im Buch. Diejenigen unter Ihnen, die noch tiefer gehen und tatsächlich die wissenschaftlichen Details kennenlernen wollen, verweise ich auf die zahlreichen Literaturhinweise. Dort können Sie wissenschaftliche Artikel finden sowohl von mir als auch von anderen Autoren; besonders natürlich von den führenden Nicht-Gleichgewichtsthermodynamikern wie Ilya Prigogine, Grégoire Nicolis, Werner Ebeling oder Rainer Feistel, aus deren Veröffentlichungen ich auch zitiert habe.

Inhaltsverzeichnis

Anhang 1: Die Lösung der ersten großen Reklamationsfälle

Anhang 2. Die Entwicklung des ersten Spezialprodukts und die erste grundlegende Erkenntnis über das Verhalten mehrphasiger Polymermischungen

Teil 1: Das erste Spezialprodukt, eine Problemlösung für einen Chemiekonzern

Teil 2: Das erste Forschungsprojekt – die Entdeckung einer Viskositätsformel für mehrphasige Polymersysteme

Anhang 3. Die Entwicklung eines Marketing- und Werbekonzeptes im Einklang mit der Umstellung des Produktprogramms zu einem europaweit führenden Spezialanbieter

Anhang 4: Mitarbeit an einem der aufregendsten und bekanntesten Kunstprojekte in Deutschland

Anhang 5: Erste Durchbrüche auf dem Weg zur Dispersion leitfähiger Polymere

Teil 1: erstmalige Dispersion von Polyacetylen

Anhang 6: Auf dem Weg zum Verständnis der Wechselwirkungen an den Grenzflächen bei Dispersionsvorgängen

Anhang 7: Erkenntnis-Durchbruch – Leitfähigkeit in Rußcompounds ist entscheidend durch Grenzflächen-Wechselwirkungen geprägt, die Perkolationstheorie kann hierfür nicht angewendet werden; ein Schlüsselschritt auf dem Weg zum Verständnis der Nicht-Gleichgewichtseigenschaften

Teil 1: Auf dem Flughafen von Newark

Teil 2: Auflösung des Rätsels „endlicher Viskositätsbeitrag von Füllstoffen“

Teil 3: schematische Darstellung des Dispersionsvorgangs

Teil 4: Simulation der Bildung der dissipativen Strukturen in „cellular automata“

Anhang 8: Wie verhält sich ein Metall im Vergleich zu einem nichtmetallischen Leiter?

Anhang 9: Korrosionsschutz

Anhang 10: Leiterplatten-Endoberfläche

Anhang 11: Die Nicht-Gleichgewichts-Thermodynamik von Dispersionen und Emulsionen (am Beispiel der Dispersion in thermoplastischen Polymer-Systemen)

Teil 1: Der Weg zur Nicht-Gleichgewichts-Dispersions-Theorie

Teil 2: Sind Nicht-Gleichgewichtssysteme instabil?

Anhang 12: Aktueller Wissensstand „Struktur und Eigenschaften des Organischen Metalls“

Teil 1: Neue Erkenntnisse zur chemischen Zusammensetzung und Kettenanordnung

Teil 2: Wie leitfähig können Organische Nanometalle werden?

Anhang 13: Turbulenztheorie

Anhang 14: Die Macht von Bildern bei der Zementierung des Paradigmas „fibrilläre und lösliche leitfähige Polymere“

Auch neue Erkenntnisse, praktische Anwendungen brachten Paradigma nichts ins Wanken

Eisen-Passivierung nicht überzeugend: Das ist low-tech

Markterfolge und -misserfolge: ebenfalls Nicht-Gleichgewichts-Phänomene

Leiterplatten: ebenfalls „low-tech“ – für Forscher an leitfähigen Polymeren nicht überzeugend

Anhang 15: Milestones and Highlights of the Organic Nanometal (Polyaniline) Science & Technology Research and Development

Antwortbrief von Prof. Ilya Prigogine auf eine Bitte um Diskussion

Anhang 1: Die Lösung der ersten großen Reklamationsfälle

Zunächst musste ich verstehen, wie Schallplatten produziert werden. Aus Metall werden zwei Matrizen (Oberseite und Unterseite) hergestellt, die als Negativ die Rillenstruktur enthalten, die die Schallplatte haben soll, damit über die Nadel die Musik abgespielt wird. Die Schallplattenpressmasse (das Granulat) wird durch einen kleinen Extruder zu einem hochviskosen „Kuchen“ erhitzt und geformt: eine knapp zwei Zentimeter dicke runde Scheibe mit einem Durchmesser von etwa zehn Zentimetern und etwas mehr als einhundert Gramm Gewicht (wenn es für eine Langspielplatte ist). Diese wird zwischen die beiden Matrizen, die auf einer Basisplatte und einem Stempel einer Presse festgemacht sind, gelegt. Die Presse fährt zu, presst die Scheibe zur Schallplatte aus, Kühlschlangen in der Presse kühlen die Masse schnell herunter, fertig ist die Beethoven-Sinfonie auf der Schallplatte.

Kratzer können auf der Matrize (die dann unbrauchbar geworden ist) entstehen, wenn im Presskuchen harte Teilchen enthalten sind, die an die Oberfläche des Kuchens gelangen und so beim Auspressen direkt die Matrize ankratzen.

Als Nächstes fand ich erstmals in meinem Leben heraus, dass viele Menschen nicht systematisch, nicht analytisch an ein Problem herangehen, sondern, ausgehend von der Illusion „Ich weiß, woran das liegt!“ oder von der Idee „Wir könnten doch schnell mal probieren, ob ...“, irgendetwas tun und orientierungslos herumprobieren.

Es gab alle möglichen Vorschläge dazu, wie man herausfinden könnte, wo die Verunreinigungen herkamen. Die meisten beruhten darauf, zu versuchen, eine Tonne Material auf die eine, eine andere Tonne Granulat auf eine andere Weise herzustellen und zu testen. Dem Leser mag es merkwürdig erscheinen, warum es so schwierig sein sollte, die Quelle einer Verunreinigung zu finden, aber wenn man sich anschaut, wie die Produktion ablief, ist es ziemlich klar.

Wir hatten acht Silos, die je vierzig Tonnen PVC-Pulver unterschiedlicher Type lagern konnten. Von den Silos führten Hunderte von Metern Rohrleitungen zu vier verschiedenen Mischern, die die Pulvermischungen mit all den Komponenten vorbereiteten, die ihrerseits vier verschiedene Extruder beschicken konnten, in denen wir die Schallplattenpressmassen erschmolzen und granulierten. Dazu sollte man berücksichtigen, dass wir als die weltweite Nr. 2 in diesem Markt im Jahr 8.000 Tonnen an Schallplattenpressmassen produzierten. Nur wenige Jahre zuvor waren es noch 14.000 Tonnen gewesen. Wir exportierten in sehr viele Länder der Erde. Daher kamen nun auch die Reklamationen: aus Brasilien, Japan und Südafrika, aus England, Frankreich und den USA. Pro Auftrag lieferten wir zwischen 20 und 100 Tonnen. Das sind eine Menge Aufträge, eine Menge unterschiedlicher Rohstoffe, Rezepte, Produktionsabläufe und noch mehr Möglichkeiten, wo die Verunreinigungen herkommen konnten. Zumal unbekannt war, was es für Verunreinigungen waren.

Die Aufzeichnungen, welche Rohstoffe wann von welchem Silo (oder aus Sackware) über welche Rohre in welche Mischer für welchen Auftrag abgerufen worden waren, waren nicht einmal *lückenhaft*. Es gab noch keine Computer, und so wurde alles nur handschriftlich dokumentiert, wenn es denn aufgeschrieben wurde. Jedenfalls konnten wir aus den Produktionsprotokollen und Reklamationen keinerlei

auch nur nebulöse Ideen extrahieren, woher die Verunreinigungen kommen könnten.

Die Zipperlinge wollten mal dieses, mal jenes testen. Der Produktionsleiter schlug mir („Sie sind doch Chemiedoktor!“) vor, ich solle eine gewisse Menge PVC auflösen, abfiltrieren und schauen, was ich da fände. Ich rechnete ihm vor, wie viele Tonnen PVC aus acht Silos ich auflösen und filtrieren müsste, mit wie vielen hundert Tonnen an Lösemitteln, um genügend Material für eine Analyse zu sammeln. Denn ich hatte eine erste Abschätzung gemacht, wie viele Teilchen es pro Tonne sein konnten. Verschwindend wenig, aber genug, um immer mal nach zwei, drei, zwanzig oder hundert Pressungen (anstatt nach einigen tausend) die Matrizze zu zerstören. Und um filtrierbare Lösungen der verschiedenen PVC-Rohstoffe zu erhalten, hätte die Konzentration am besten nur bei einem Prozent liegen müssen. Ganz abgesehen davon, dass die Quelle der Verunreinigungen gar nicht in den PVC-Rohstoffen liegen musste, sondern auch irgendwo in den Rohren, Ventilen, Weichen und Luftfiltern der Absaugung liegen konnte. Oder in einem der übrigen vielen Zusatzstoffe.

Stattdessen wollte ich systematisch analysieren. Wir hatten eine Schallplattenpresse im Qualitätskontrolllabor. Ich veranlasste, dass mir Matrizen gebracht wurden, die soeben einen Kratzer bekommen hatten. Ich hatte große Schwierigkeiten, dieses durchzusetzen: Sie sollten aus *allen* Produktionschargen Testpressungen machen und, sobald ein Kratzer auftrat (also nach jeder Pressung nachschauen! Nicht weiterpressen!), diese Matrizze zur Seite legen, für mich.

Gleichzeitig suchte ich nach einem Elektronenmikroskop und fand ein privates Institut. Da die Aufgaben, die ich den