

The background features a network diagram with various nodes (circles, squares, pentagons) in shades of pink, orange, and blue, connected by thin blue lines. The nodes are scattered across the cover, with some overlapping the text.

Frank-Michael Dittes

# Komplexität

Warum die Bahn nie  
pünktlich ist

SACHBUCH

 Springer

---

# Technik im Fokus

Die Buchreihe Technik im Fokus bringt kompakte, gut verständliche Einführungen in ein aktuelles Technik-Thema.

Jedes Buch konzentriert sich auf die wesentlichen Grundlagen, die Anwendungen der Technologien anhand ausgewählter Beispiele und die absehbaren Trends.

Es bietet klare Übersichten, Daten und Fakten sowie gezielte Literaturhinweise für die weitergehende Lektüre.

Weitere Bände in der Reihe <https://link.springer.com/bookseries/8887>

---

Frank-Michael Dittes

# Komplexität

Warum die Bahn nie pünktlich  
ist

2. Auflage

 Springer

Frank-Michael Dittes  
Fachbereich  
Ingenieurwissenschaften  
Hochschule Nordhausen  
Nordhausen, Deutschland

ISSN 2194-0770

Technik im Fokus

ISBN 978-3-662-63492-9

<https://doi.org/10.1007/978-3-662-63493-6>

ISSN 2194-0789 (electronic)

ISBN 978-3-662-63493-6 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2012, 2021  
Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Michael Kottusch

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

---

## Vorwort zur 2., überarbeiteten und aktualisierten Auflage

Fast 10 Jahre sind seit der ersten Auflage dieses Buches im Jahr 2012 vergangen. Ich hatte darin anhand zahlreicher Beispiele zentrale Erkenntnisse der Komplexitätsforschung vorgestellt:

- die Tendenz großer Systeme, sich immer weiter zu entwickeln und ihre Komplexität zu erhöhen,
- die damit verbundene Existenz von kritischen Punkten, an denen das Systemverhalten vom regulären, beherrschbaren ins chaotische umkippt,
- den Nutzen, sich in der Nähe des durch die Kippunkte gebildeten Chaosrands – des „edge of chaos“ – aufzuhalten, aber auch die damit untrennbar verbundenen Krisen und Zusammenbrüche,
- die typischen Mittel, Komplexität zu reduzieren und Systeme zu stabilisieren.

Komplexe Systeme waren zu diesem Zeitpunkt schon mehrere Jahrzehnte Gegenstand intensiver Forschungen. Um das Jahr 2010 herum bekam das Thema „Komplexität“ aber eine neue Brisanz:

- Die Finanzkrise 2008 hatte den weit verbreiteten Glauben an das stabile Funktionieren der „freien“ Marktwirtschaft erschüttert und deren Kehrseite offenbart. Nur durch massive staatliche Eingriffe und ungeheure Geldspritzen konnten der

Zusammenbruch des Bankensystems und eine größere Wirtschaftskrise verhindert werden.

- Der Reaktorunfall von Fukushima im Frühjahr 2011 führte zur Abkehr Deutschlands von der Kernenergie. Dadurch wurde der Übergang des deutschen Energiesystems von der Versorgung durch wenige große Kraftwerke zu einer komplizierten Netzstruktur mit verschiedensten Erzeugern und Verbrauchern entscheidend beschleunigt.
- Und schon vor 10 Jahren waren die dramatischen Folgen des Klimawandels hinlänglich bekannt und erforderten konsequentere Maßnahmen, um das Umkippen ökologischer Systeme mit unabsehbaren Folgen für die Menschen zu verhindern.

Hat die Welt, haben wir in der Zwischenzeit begriffen, dass es vernünftig ist, Komplexität nicht uferlos anwachsen zu lassen und lieber etwas Abstand zum Chaosrand zu halten? Besser noch, Maßnahmen zu ergreifen, die diesen Abstand sichern? Oder hat sich die Komplexität in den vergangenen 10 Jahren weiter erhöht? Wird die „Krise [also] zum Regelfall“, wie die Neue Zürcher Zeitung schon am 06.08.2011 formulierte?

Natürlich gibt es auf diese Fragen nicht nur eine Antwort – das wäre auch verwunderlich, die Probleme sind komplex, und dementsprechend müssen auch die Antworten komplex ausfallen. Zweifellos ist die Komplexität in manchen Bereichen größer geworden. Ob das immer zum Guten war, sei dahingestellt. Nehmen wir als Kriterium zunächst die *Vernetzung* der Komponenten eines Systems (s. Kap. 7). Im internationalen Maßstab ist sie trotz nationalistischer Alleingänge einiger Wirtschaftsnationen gestiegen: An die Stelle der Kooperationsabkommen, die die USA unter Präsident Trump aufgekündigt bzw. verhindert haben (Stichwort TTIP) sind andere Allianzen getreten; insbesondere China hat das entstandene „Loch“ im internationalen Netz bereitwillig gestopft. Und der sogenannte Brexit führt dazu, dass Großbritannien seine Verflechtungen mit anderen Ländern intensiviert und trotzdem weiterhin Handel mit der EU treibt.

Auch *Krisen* sind ein typisches Anzeichen von Komplexität, signalisieren sie doch, dass das geordnete Funktionieren des Systems an seine Grenzen gestoßen ist und ein „weiter so“ ins Chaos führen würde (s. Kap. 6). Anzahl und Ausmaß von Krisen können also als Maß für die Komplexität eines Systems dienen. Selbst wenn man berücksichtigt, dass das Wort „Krise“ unter einer inflationären Verwendung leidet (wobei ich die verbreitete „mid-life crisis“ noch nicht einmal mit einbezogen habe), sind in den vergangenen Jahren global gesehen einige dazugekommen, u. a.:

- die „Flüchtlingskrise“ von 2015, die ja eigentlich Ausdruck der Ungleichheit in der Welt und der damit verbundenen Verteilungskrise ist,
- fast schon revolutionäre Entwicklungen auf dem Gebiet der künstlichen Intelligenz: Von Google und anderen erzielte Durchbrüche ließen die Befürchtungen einer bevorstehenden „technologischen Singularität“ aufleben, jenseits derer die menschliche Gesellschaft in ihrer jetzigen Form keine Rolle mehr spielt,
- die Verschärfung der Umweltproblematik. Zwei Beispiele dafür folgen auf der nächsten Seite.

Hinzu kommt die Corona-Krise, die – während ich diese Zeilen im Mai 2021 schreibe – immer noch andauert: Von Infektionsketten ist plötzlich die Rede, von Superspreadern, die wie die Spinne im Infektionsnetz hängen, von der Gefahr des exponentiellen Anstiegs der Infektionszahlen, wenn die Reproduktionszahl  $R$  einen *kritischen Wert* übersteigt – alles Begriffe, die uns im Buch begegnen werden.

Dabei hat die Corona-Pandemie die Komplexität der Gesellschaft auf den ersten Blick sogar *verringert*: Länder, ja sogar Bundesländer, haben sich voneinander abgeschottet, Kontakte – das heißt Beziehungen als zentrale Voraussetzung für die Entwicklung von Komplexität, s. Kap. 2 – wurden eingeschränkt. Und auch das Schließen von Schulen und Freizeiteinrichtungen, ganz zu schweigen von der nächtlichen Ausgangssperre, hat zweifellos zu einer Reduktion der Komplexität beigetragen. Es scheint also ganz so, als sähen wir hier die Tendenz in Richtung

höherer Komplexität außer Kraft gesetzt. Aber halt! Während das Alltagsleben hoffentlich bald wieder normal verlaufen wird, werden die in der Krise erfolgte Stärkung der Top-Konzerne, die Belastung der ärmsten Länder und generell die weitere Öffnung der Schere zwischen Arm und Reich noch lange Zeit fortwirken.<sup>1</sup>

Dazu kommt eine der gefährlichsten Folgen für die Stabilität von Systemen (ich gehe darauf in Kap. 4 ausführlich ein): Wir sehen nämlich – wie auch schon in der Finanzkrise von 2008 – einen weiteren massiven Export von Problemen in die Zukunft. Ist es nicht verführerisch, die drängendsten Probleme auf so einfache Weise zu „lösen“ und das System dadurch zu beruhigen? Schnell findet die Politik auch die vielfältigsten Begründungen für einen solchen Export: „Jetzt können wir doch den Wählern und Wählerinnen nichts Schmerzhaftes zumuten“, „diese Schritte sind einfach alternativlos“ und vielleicht auch (unausgesprochen): „nach uns die Sintflut“... Zu den „Exportmaßnahmen“ gehört in erster Linie eine von den Regierungen und Zentralbanken weltweit ausgelöste Geldschwemme, neben der sich die zur Bewältigung der Finanzkrise 2008 „erfundenen“, d. h. aus dem Nichts erschaffenen Finanzmittel fast schon wie Spielgeld ausnehmen. So hat alleine Deutschland Schulden in Höhe von 650 Mrd. EUR zur Bewältigung der Krise aufgenommen, die USA werfen gerade 2 Billionen Dollar auf den Markt, und da sind die 900 Mrd. vom vorigen Jahr noch gar nicht mitgerechnet.

Heute muss man ja nicht einmal mehr das hinzukommende Geld drucken, es reicht am Computer eine Null anzuhängen, und davon haben wir nun wahrlich genug! Das so erschaffene Geld sucht sich natürlich seinen Weg und führt tendenziell zu höheren Preisen. Geschah dies bisher vor allem an den Immobilien- und Aktienmärkten, gibt es jetzt auch erste Anzeichen einer für alle spürbaren Preissteigerung – der Index der Verbraucherpreise in

---

<sup>1</sup>s. z. B. „Der Tagesspiegel“ vom 20.10.2020, <https://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/die-folgen-der-corona-pandemie-wie-die-wirtschaftskrise-die-welt-spaltet/26284566.html>.

Deutschland könnte 2021 um bis zu 4 % steigen.<sup>2</sup> Achten Sie also schon jetzt auf die im Anhang beschriebenen Frühwarnzeichen einer Inflation!

Aber nicht nur die horrenden Schulden geben Anlass zur Sorge. Auch der u. a. durch das Fehlen von Präsenzunterricht zu befürchtende Rückstand in Bildung und Entwicklung unserer Kinder könnte die Gesellschaft noch Billionen kosten. Und wie die Wirtschaft die Krise übersteht, ist trotz aller Finanzhilfen noch nicht abzusehen. Selbst wenn keine Wirtschaftskrise ins Haus stehen sollte, wird es wohl kein Zurück zum bisherigen Zustand mehr geben. Es wäre fatal, die Probleme der Gegenwart wieder durch deren Verlagerung in die Zukunft lösen zu wollen und damit – analog zu den im Zuge der Bewältigung der 2008-er Finanzkrise gegründeten „bad banks“ – eine „bad future“ zu schaffen.

An verschiedenen Beispielen habe ich in der ersten Auflage illustriert, wie reguläres, beherrschbares Verhalten eines Systems in chaotisches umschlagen kann. Zwischen diesen beiden Verhaltensweisen liegen dabei *kritische Punkte*, d. h. Systemparameter, die nicht überschritten werden dürfen, will man dem Chaos entgehen. Wo genau die kritischen Punkte in realen Systemen liegen bzw. wann das System sie erreicht, ist schwer vorherzusagen. Es gibt allerdings *Anzeichen* der Annäherung des Systems an einen solchen Umschlagpunkt. Dazu gehört die Zunahme von Fluktuationen und das sogenannte *critical slowing down*, d. h. die verlangsamte „Erholung“ des Systems nach Abweichungen vom bisherigen Zustand. Mehrere solcher Punkte sind in den vergangenen Jahren immer stärker ins Bewusstsein gerückt:

Der erste ist mit der globalen Erwärmung und dem Zusammenhang zwischen Temperaturanstieg und der menschgemachten Zunahme des CO<sub>2</sub>-Gehalts der Atmosphäre verbunden. Mittlerweile wird diese Korrelation zwar nur noch von

---

<sup>2</sup>Tagesschau vom 11.05.2021, <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/konjunktur/inflation-ezb-geldpolitik-rohstoffpreise-deutschland-fed-usa-101.html>.

Wenigen bestritten. Trotzdem brauchte es bis zum Jahr 2015 und der sage und schreibe 21. Internationalen Klimakonferenz, um eine Beschränkung des weiteren Temperaturanstiegs als Ziel zu vereinbaren. *Als Ziel*, wohlgermerkt, *möglichst* auf 1,5 Grad! Das heißt ja nichts anderes als: „wäre ganz nett, wenn es nicht zu warm wird“. Kein Wunder, dass sich die von der Erwärmung am stärksten betroffene Generation mit „Fridays for Future“ lautstark bemerkbar gemacht hat. Und, immerhin, es verändert sich etwas. Nicht nur in Form von sich gegenseitig überbietenden Zielzahlen, sondern auch mit konkreten Maßnahmen wollen die Bundesregierung, die EU und viele andere Länder eine „klima-neutrale Politik“ umsetzen.<sup>3</sup> Die Weltgemeinschaft versucht also, den in Richtung Chaosrand rasenden Zug noch abzubremesen. Ob das gelingt, wird sich zeigen. Die Fluktuationen, z. B. in Gestalt von Wetterextremen, nehmen schon seit Jahren zu. Und die Beobachtung des arktischen Eises zeigt nicht nur generell dessen starke Abnahme, sondern eben auch dessen verlangsamte Erholung. Der Kipppunkt des Systems könnte bereits erreicht sein und die Entwicklung in Richtung eisfreier Arktis wäre nicht mehr aufzuhalten – mit einem Anstieg des weltweiten Meeresspiegels um 6 bis 7 m als Folge.<sup>4</sup>

Auch in anderen großen Systemen droht ein Umkippen: Modellrechnungen zeigen, dass schon die Abholzung eines Viertels der Fläche des brasilianischen Regenwalds aufgrund der dann geringeren Verdunstung zu einer unumkehrbaren Versteppung des gesamten Waldgebiets führt. Der derzeitige Anteil der insbesondere durch Brandrodung verloren gegangenen Fläche beträgt bereits knapp 20 %!<sup>5</sup>

Das Phänomen des „critical slowing down“, hier der immer langsameren Erholung nach Wirtschaftseinbrüchen, wird auch

---

<sup>3</sup>Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, <https://www.bmu.de/themen/klima-energie/klimaschutz/eu-klimapolitik/>.

<sup>4</sup><https://www.spektrum.de/news/eisschmelze-groenlands-kipppunkt-koennte-schon-erreicht-sein/1874647>

<sup>5</sup><https://www.spektrum.de/news/was-die-amazonasbraende-wirklich-bedeuten/1668902>

in den Wirtschaftswissenschaften diskutiert.<sup>6</sup> Ob die Angst vor dem damit verbundenen Kipppunkt berechtigt ist, könnte sich bereits in wenigen Jahren gezeigt haben, wenn die Corona-Krise hoffentlich überwunden ist.

Auf ideeller Ebene führt die zunehmende Komplexität der Welt zu Gegenreaktionen und dem Bedürfnis nach Einfachheit. Wo die Verwobenheit der Systeme zu groß wird, befürchten wir leicht Kontrollverlust und fühlen uns bedroht. Gegenläufige Tendenzen setzen ein. Die oben erwähnten Abschottungsmaßnahmen einzelner Länder, sei es durch ein Verlassen von Staatenverbänden, s. Brexit, oder durch den Aufbau von Handelshindernissen, s. Zollstreitigkeiten zwischen den USA und der EU, bremsen zumindest zeitweilig die Tendenz zur Globalisierung der Weltwirtschaft. Und auch die Angst vor einem andauernden Flüchtlingsstrom hat in den Jahren nach 2015 zu einer stärkeren Betonung des Nationalen in vielen europäischen Ländern und damit zu realen Abschottungsmaßnahmen geführt. All dies reduziert zwar – wie von den Initiatoren beabsichtigt – die Komplexität unserer Gesellschaft, aber damit letztlich auch das ihr innewohnende Entwicklungspotenzial!

Darüber hinaus hat die Betonung der Individualität – des eigenen Andersseins – zu einem Erstarken des Identitarismus geführt. Damit meine ich nicht nur die sogenannte identitäre Bewegung, die ethnische Besonderheiten in den Mittelpunkt stellt, sondern *jegliche* Betonung der Partikularität und der Partikularinteressen. Wenn wir die Gesellschaft als Netz im Sinne von Kap. 7 betrachten, entfernen sich dadurch die Knoten des Netzes voneinander und das Gemeinsame geht tendenziell verloren. Die modernen Informationstechnologien befördern diese Tendenz noch, indem sie individuelle Weltbilder und (scheinbare) Realitäten vermitteln – was generell zu einer Zersplitterung der Wertevorstellungen führt. Die Gesellschaft verliert dadurch den Boden einer gemeinsamen Realität.

---

<sup>6</sup> <https://scilogs.spektrum.de/fischblog/warum-die-us-wirtschaft-zusammenbricht-oder-auch-nicht/>

Mehr noch: die objektiv vorhandene Komplexität wird nur noch reduziert wahrgenommen und einfache Lösungen zur Bewältigung komplexer Probleme scheinen auf einmal möglich. Hoffen wir, dass das Netz, das unsere Gesellschaft zusammenhält, nicht reißt...

Aber zurück zu diesem Büchlein: Die obigen Gedanken gaben mir Grund genug, unter Beibehaltung der Gesamtstruktur eine neue Auflage vorzubereiten. Alle Analysen realer Daten und die damit verbundenen Abbildungen sowie die Literaturangaben sind dabei auf den neuesten Stand gebracht worden. Der Text ist weitgehend unverändert geblieben, an verschiedenen Stellen habe ich die Darlegung aber etwas ausführlicher und dadurch, wie ich hoffe, verständlicher gemacht. Das betrifft insbesondere die Formulierung der Potenzgesetze in Kap. 2 und der Eigenschaften des Logarithmus in Kap. 3. Daneben hoffe ich, einen weiteren Teil der auch nach dem 10. Korrekturlesen des Manuskripts noch durchgeschlüpften Fehlerchen ausgebügelt zu haben.

Zum Inhalt: Wer sich die Mühe macht, diese Ausgabe mit der 1. Auflage zu vergleichen, wird feststellen: Qualitativ haben sich die untersuchten Systeme nicht verändert: Die Erdbebenverteilung ist dieselbe geblieben, und glücklicherweise ist seit Fukushima auch kein weiteres Extrembeben mehr aufgetreten.

Die Bevölkerungszahlen der deutschen Städte unterliegen nach wie vor dem Zipfschen Gesetz (diesmal anhand der 1000 größten Städte dargestellt) – ungeachtet der Tatsache, dass sich natürlich in jedem einzelnen Ort die Einwohnerzahl in den letzten 10 Jahren verändert hat. Allerdings scheint mir, dass sogar noch ein paar 500.000-„Zauberer“ hinzugekommen sind, s. Kap. 3.

Und die Worthäufigkeiten? Sie bestätigen das  $1/f$ -Gesetz besser denn je – aufgetragen in Abschn. 3.3 anhand von 1 Million deutscher Sätze. Auch der DAX zeigt  $1/f$ -Fluktuationen – egal, ob ich ihn von 2000 bis 2011 wie in der ersten Auflage oder bis 2020 untersuche. Finanzmärkte waren und sind nun mal komplex. Und – wie erwartet – bleiben auch die Lottozahlen unvorhersagbar. Nur dass der Verlierer des Jahres 2011, die 48, jetzt im oberen Mittelfeld rangiert.

Die Neuauflage bestätigt also, dass die vor 10 Jahren vorgestellten Komplexitätsgesetze nach wie vor gültig sind. Sie setzen sich aber nicht von *allein* durch: welchen Zustand ein System letztlich einnimmt, wird wesentlich von den handelnden Akteuren bestimmt. Beobachten Sie die Welt also genau, und – noch besser – nutzen Sie alle Möglichkeiten, sie ein Stück weit vom Chaosrand fern und dadurch lebenswert zu erhalten. Ich würde mich freuen, wenn dieses Buch Ihnen dabei ein kleines bisschen hilft.

Nachtrag im Oktober 2021: Vor wenigen Tagen wurden die diesjährigen Physik-Nobelpreise an drei Forscher vergeben, die wesentliche Beiträge zur Beschreibung komplexer Systeme geleistet haben. Der Deutsche Klaus Hasselmann, der Japaner Syukuro Manabe und der Italiener Giorgio Parisi trugen maßgeblich dazu bei, Gemeinsamkeiten im Verhalten verschiedenster Systeme aufzudecken und mathematisch zu beschreiben. Ihre Erkenntnisse erlauben es, eines der drängendsten Probleme der Gegenwart – den menschengemachten Klimawandel – besser zu verstehen und Bewältigungsstrategien abzuleiten. Einen schöneren Beleg für die Aktualität des vorliegenden Buches und seines Bezugs zu brennenden Fragen unserer Zeit hätte ich mir nicht wünschen können ...

Erfurt  
im Mai 2021

Frank-Michael Dittes

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung: Komplexität und Pünktlichkeit</b> . . . . .	1
	Literatur. . . . .	6
<b>2</b>	<b>Beziehung ist alles: Komplexität und Korrelation.</b> . . . . .	7
2.1	Alles Gauß, oder? . . . . .	7
2.2	Korreliertes Verhalten. . . . .	13
2.3	Ein Modell für gekoppelte Ereignisse: die Kettenreaktion . . . . .	17
2.4	Was heißt denn hier kritisch? . . . . .	22
	Literatur. . . . .	28
<b>3</b>	<b>Wider den Einheitsbrei: Komplexität und strukturelle Vielfalt</b> . . . . .	29
3.1	Von kleinen und großen Zahlen: Strukturen auf allen Skalen . . . . .	29
3.2	Da vergeht einem Hören und Sehen: potenzierte Wahrnehmung und ihre Grenzen . . . . .	35
3.3	Potenzgesetze überall. . . . .	42
	Literatur. . . . .	48
<b>4</b>	<b>Selbst ist der Mann: Komplexität und selbstorganisierte Kritikalität</b> . . . . .	49
4.1	Sandkastenspiele . . . . .	49
4.2	Sand im Prozessor: ein Computermodell. . . . .	54

4.3	Von unter- und über- und einfach kritischen Beben .....	56
	Literatur .....	62
<b>5</b>	<b>Was rauscht denn da? Komplexität und Fluktuation.</b> .....	<b>63</b>
5.1	Frequenzen und ihre Analyse .....	63
5.2	Komplexität und Gedächtnis .....	66
5.3	Und wenn's nun doch bloß Zufall ist? .....	70
5.4	Komplexität aus Nullen und Einsen .....	74
	Literatur .....	80
<b>6</b>	<b>Haarscharf am Abgrund: Komplexität und Chaos</b> .....	<b>81</b>
6.1	Komplexität zwischen Ordnung und Chaos ...	81
6.2	Je oller, je doller: warum alles immer komplexer wird .....	85
6.3	Wie die Lemminge: ein Wachstumsmodell ...	92
6.4	Strukturen auf allen Skalen: die Schönheit der Kante .....	98
6.5	Edge of chaos: die ultimative Komplexität ...	103
	Literatur .....	106
<b>7</b>	<b>Halten und gehalten werden: Komplexe Netze</b> ...	<b>107</b>
7.1	Zusammenhalt gefragt .....	107
7.2	Wer da hat, dem wird gegeben – Komplexität durch bevorzugte Anlagerung .....	111
7.3	Komplexe Netze überall .....	116
	Literatur .....	121
<b>8</b>	<b>Die Komplexität der Bahn</b> .....	<b>123</b>
8.1	Ein komplexes Netz .....	123
8.2	Wenn der Knoten platzt – die Bahn an der Kante .....	128
8.3	Ja mach nur einen Plan. ....	131
8.4	Wie pünktlich kann die Bahn denn sein? .....	133
	Literatur .....	138

---

<b>9</b>	<b>Bitte zurücktreten! – 5 Wege, Komplexität zu reduzieren</b> . . . . .	139
9.1	Simplify your System. . . . .	139
9.2	Vergiss die Puffer nicht . . . . .	140
9.3	Teile und herrsche . . . . .	142
9.4	Exportiere Probleme. . . . .	143
9.5	Auf zu neuen Horizonten. . . . .	144
	Literatur. . . . .	144
<b>10</b>	<b>Zum Schluss: Verweile doch, du bist so schön</b> . . . . .	145
<b>11</b>	<b>Anhang: Wenn's mal wieder länger dauert</b> . . . . .	149
11.1	Eine Runde Poker spielen . . . . .	149
11.2	Wie geht's weiter mit dem Geld?. . . . .	151
11.3	Schneeflocken basteln . . . . .	153
11.4	Ein Netz entwerfen. . . . .	155
11.5	Die Komplexität der „Komplexität“. . . . .	156
11.6	Komplexität beobachten. . . . .	156
	Literatur. . . . .	158
	<b>Verwandte und weiterführende Literatur</b> . . . . .	159
	<b>Stichwortverzeichnis</b> . . . . .	161



# Einleitung: Komplexität und Pünktlichkeit

# 1

## Zusammenfassung

Was ist Komplexität? Wieso gibt es sie überhaupt und warum werden und sind Systeme komplex? Ist Komplexität messbar? Ist sie gut und wenn ja, in welchem Sinne? Das vorliegende Kapitel stellt den „Fahrplan“ zur Beantwortung dieser Fragen vor und erörtert dazu zunächst verschiedene Facetten des Begriffs „Komplexität“.

Pünktlich wie die Uhr – so heißt es gern, wenn jemand genau zur verabredeten Zeit erscheint – sei es nun zum Seminar, zum Meeting oder zu einem „Date“, wie meine Studenten sagen würden. Dabei ist selbst die mechanische Uhr, auf der dieser Spruch beruht, schon ein recht komplexes System: Räder greifen ineinander, Federn spannen und entspannen sich, leise tickt die Unruh ... Bereits hier zeigt sich, dass Komplexität auch ihre Tücken hat: Wehe, Sand kommt ins Getriebe oder eine Achse bricht, dann geht auf einmal gar nichts mehr. Und je feiner das Uhrwerk, desto anfälliger ist es für Störungen. Oder nehmen wir die Bahn. Natürlich ist sie nicht „nie pünktlich“ – der Leser verzeihe den „PR-Trick“ des Buchtitels, aber ihr Fahrplan ist mindestens ebenso anfällig für Störungen wie das o. g. Uhrwerk. Jeder Reisende hat seine eigenen Erfahrungen damit und mindestens eine Meinung dazu. Und überhaupt, was hat