

GEOFFREY WEST

SCALE

Die universalen Gesetze
des Lebens von Organismen,
Städten und Unternehmen

*Aus dem Englischen
von Jens Hagedt*

C.H.BECK

INHALT

I. DAS GROSSE GANZE II

i. Einführung 11 • 2. Wir leben in einer exponentiell wachsenden sozioökonomischen urbanisierten Welt 18 • 3. Leben und Tod 20 • 4. Energie, Stoffwechsel und Entropie 22 • 5. Es kommt wirklich auf die Größe an: Skalierung und nicht-lineares Verhalten 25 • 6. Skalierung und Komplexität: Emergenz, Selbstorganisation und Resilienz 29 • 7. Sie sind die Gesamtheit ihrer Netzwerke: Wachstum von der Zelle bis zum Wal 35 • 8. Städte und globale Nachhaltigkeit: Innovation und Zyklen von Singularitäten 38 • 9. Unternehmen 42

2. DAS MASSALLER DINGE 45

Eine Einführung in das Skalieren

1. Von Godzilla zu Galileo Galilei 45 • 2. Falsche Vorstellungen von Skalierung: Superman 53 • 3. Größenordnungen, Logarithmen, Erdbeben und die Richterskala 55 • 4. Eisen stemmen und Galilei testen 58 • 5. Individuelle Leistung und Abweichungen von den errechneten Werten: der stärkste Mann der Welt 60 • 6. Weitere falsche Vorstellungen von Skalierung: Drogen- und Medikamentendosierungen (LSD bei Elefanten, Tylenol bei Babys) 61 • 7. Der BMI, Quetelet, der Durchschnittsmensch und soziale Physik 65 • 8. Innovation und die Grenzen des Wachstums 69 • 9. Die «Great Eastern», Breitspureisenbahnen und der bemerkenswerte Isambard Kingdom Brunel 73 • 10. William Froude und die Ursprünge der Modellbildungstheorie 78 • 11. Ähnlichkeit: dimensionslose und skaleninvariante Zahlen 85

3. DIE SIMPLIZITÄT UND KOMPLEXITÄT DES LEBENS 89

1. Von Quarks und Strings zu Zellen und Walen 92 • 2. Stoffwechselrate und natürliche Selektion 98 • 3. Die Simplizität, die der Komplexität zugrunde liegt: Kleibers Gesetz, Selbstähnlichkeit und Skaleneffekte 100 • 4. Allgemeingültigkeit und die das Leben beherrschende magische Zahl 4 103 • 5. Energie, emergente Ge-

setze und die Hierarchie des Lebens 109 • 6. Netzwerke und der Ursprung der allometrischen %-Potenz-Skalierung 113 • 7. Physik trifft Biologie: über das Wesen von Theorien, Modellen und Erklärungen 115 • 8. Netzwerkprinzipien und der Ursprung der allometrischen Skalierung 121 • 9. Die Stoffwechselraten und Kreislaufsysteme von Säugetieren, Pflanzen und Bäumen 127 • 10. Exkurs über Nikola Tesla, Impedanzanpassung und AC/DC 131 • 11. Zurück zu den Stoffwechselraten, den schlagenden Herzen und den Kreislaufsystemen 134 • 12. Selbstähnlichkeit und die Herkunft der magischen Zahl 4 135 • 13. Fraktale: der rätselhafte Fall der länger werdenden Grenzen 139

4. DIE VIERTE DIMENSION DES LEBENS 155

Wachstum, Altern und Tod

1. Die vierte Dimension des Lebens 159 • 2. Warum gibt es keine Säugetiere von der Größe winziger Ameisen? 162 • 3. Und warum gibt es keine riesigen Säugetiere von der Größe Godzillas? 166 • 4. Wachstum 171 • 5. Die Erderwärmung, die exponentielle Skalierung der Temperatur und die Stoffwechseltheorie der Ökologie 181 • 6. Altern und Sterblichkeit 186

5.VOM ANTHROPOZÄN ZUM URBANOZÄN 217

Ein von Städten dominierter Planet

1. Leben in exponentiell sich ausdehnenden Universen 217 • 2. Städte, Urbanisierung und globale Nachhaltigkeit 221 • 3. Exkurs: Was genau ist ein Exponential? 224 • 4. Der Aufstieg der Industriestadt und das Unbehagen in ihr 230 • 5. Malthus, Neo-Malthusianer und die großen Innovationsoptimisten 234 • 6. It's all energy, stupid! 241

6. PRÄLUDIUM ZU EINER STÄDTEWISSENSCHAFT 253

1. Sind Städte und Unternehmen nichts anderes als sehr große Organismen? 253 • 2. Die heilige Jane und die Drachen 259 • 3. Zwischenbemerkung: meine persönlichen Erfahrungen mit Garten- und Retortenstädten 269 • 4. Zwischenergebnis und Fazit 272

7. AUF DEM WEG ZU EINER STÄDTEWISSENSCHAFT 275

1. Städte skalieren 277 • 2. Städte und soziale Netzwerke 287 • 3. Welches sind diese Netzwerke? 290 • 4. Städte: Kristalle oder Fraktale? 294 • 5. Städte als große soziale Brutkästen 300 • 6. Wie viele enge Freunde haben sie wirklich? Dunbar und seine Zahlen 310 • 7. Wörter und Städte 315 • 8. Die fraktale Stadt: das Soziale mit dem Materiellen verbinden 321

8. KONSEQUENZEN UND VORAUSSAGEN 331

Von Mobilität und Lebenstempo zu sozialer Vernetzung, Diversität, sozialem Stoffwechsel und Wachstum

1. Die Beschleunigung des Lebens 332 • 2. Leben auf einem immer schneller rotierenden Laufband: die Stadt als Zeitschrumpfungsmaschine 334 • 3. Pendlerzeiten und Größe der Städte 338 • 4. Das steigende Gehtempo 341 • 5. Sie sind nicht allein: Handys als Detektoren menschlichen Verhaltens 342 • 6. Verifizierung der Theorie: soziale Vernetzung in Städten 346 • 7. Die Gesetzmäßigkeit der Fortbewegung in Städten 352 • 8. Mehrleister und Minderleister 358 • 9. Reichtum, Innovation, Kriminalität und Belastbarkeit: Individualität und Rang von Städten 361 • 10. Nachhaltigkeit: ein kurzer Exkurs zum Thema Wasser 366 • 11. Die sozioökonomische Diversität der geschäftlichen Aktivitäten in Städten 369 • 12. Wachstum und Stoffwechsel der Städte 377

9. AUF DEM WEG ZU EINER UNTERNEHMENS- WISSENSCHAFT 385

1. Ist Walmart ein hochskalierter Tante-Emma-Laden? 390 • 2. Der Mythos vom unbegrenzten Wachstum 396 • 3. Die erstaunliche Einfachheit der Sterblichkeit von Unternehmen 400 • 4. Requiescant in pace 408 • 5. Warum Unternehmen sterben, Städte aber nicht 412

10. DIE VISION EINER GANZHEITLICHEN THEORIE DER NACHHALTIGKEIT 417

Immer schneller rotierende Laufbänder, Innovationszyklen und Singularitäten zu endlichen Zeitpunkten 418

NACHWORT 433

i. Wissenschaft für das 21. Jahrhundert 433 • 2. Transdisziplinarität, komplexe Systeme und das Santa Fe Institute 437 • 3. Big Data: Paradigma 4.0 oder nur 3.1? 444

Postskriptum und Danksagung 455

Anmerkungen 465

Nachweis der Abbildungen 476

Personenregister 477