

Skalieren

The Seductive Trap of Linear Thinking. Skalierungseffekte im Experiment

Reinhard Wendler

Dieser Beitrag stellt das Problem der Skalierungseffekte bei Experimenten beispielhaft anhand eines Experiments vor, das durch das Eintreten unvorhergesehener Folgen seinen Charakter grundlegend verändert hat: Ein Elefant wurde mit LSD vergiftet und das Experiment für gescheitert erklärt, obwohl man daraus wichtige Beobachtungen hätte ableiten können. Ursächlich war eine Ignoranz der Experimentatoren gegenüber Skalierungseffekten. Das Phänomen wird auf seine Entstehung, Auswirkungen und Bewertung hin untersucht und in den Kontext theoretischer Konzepte von Skalierungseffekten gestellt. Abschließend diskutiert der Beitrag den janusköpfigen Charakter der Skalierungseffekte als Erkenntnishin-dernisse und Erkenntnisquellen.

„Milligram per Killigram“

Im Jahre 1962 führten Louis Jolyon West, Chester Pierce und Warren Thomas Experimente an einem Elefanten durch. Diese Tiere seien dem Menschen in vielerlei Hinsicht ähnlich, so betonen die Autoren, sie seien zum Beispiel bemerkenswert intelligent, lebten vergleichbar lange und zudem in komplexen sozialen Gefügen wie der Mensch, und sie wiesen überhaupt eine sehr interessante „Psychobiologie“ auf. Mit diesem Ausdruck verweisen West, Pierce und Thomas auf die Musth (sprich mæst), ein Phänomen periodisch wiederkehrender Phasen von Aggressivität bei jungen Elefantenbulen. „[T]he elephant [...] runs berserk for a period of about 2 weeks during which time he may attack or attempt to destroy anything in his path“ (West et al. 1962: 1101). Die drei Forscher stellen dieses Phänomen nicht explizit in einen Zusammenhang zur männlichen Pubertät, erachten es aber dennoch aus einer vergleichbaren Perspektive heraus als erforschungswürdig. Es sei „an almost unique phenomenon in nature, and it provides an interesting opportunity for psychiatric research“ (ebd.). Mit diesem Hinweis wird der nachfolgend beschriebene Versuch gerechtfertigt.

West, Pierce und Thomas entwarfen ein Experiment an dem vierzehn Jahre alten indischen Elefantenbulen Tusko, der sich im Besitz des Lincoln Park Zoo in Oklahoma City befand. Tusko

THE DAILY OKLAHOMAN

VOL. 71, NO. 211

TWENTY-EIGHT PAGES — 500 N. BROADWAY, OKLAHOMA CITY, SATURDAY, AUGUST 4, 1962

DAILY, FIVE CENTS

JUDGES DELAY APPORTIONING

Israel Airline Defies Orders To Fly Soblen

Spy Wins Another Chance for Fight On Return to U. S.

London (UPI)—The Israeli Airline defied Friday night a British order to fly Dr. Robert Soblen to the United States. The 50-year-old fugitive spy began another effort to help him escape a life sentence in an American prison.

The British home office insisted that El Al Airline must let Soblen, who already attempted to escape, get him out of this country Friday night.

Flight Delayed

El Al refused — on Israeli government orders — to open up gates of still neutralization in order that his passenger, one of the most complicated cases in legal history, The home office said.

"We have directed El Al to make arrangements to have Dr. Soblen taken to America as soon as possible. We are

Shot of Drug Kills Tusko

By Claire Coulby
UPI Staff Writer

The 3,700-pound research elephant being boarded at the Oklahoma City zoo died shortly after injection of a powerful LSD drug which has been administered to humans to induce mental illness for study.

The drug is LSD, lysergic acid diethylamide. Tusko's reaction was a massive shock to scientists who attempted to save his life.

Dr. L. J. West, professor of zoology at the University of Oklahoma medical school, who has been directing a series of animal experiments, said the animal was brought here from Phoenix, and the dosage was .3 grains.

The dose was larger than the recommended human dose, but 50 percent smaller than the dosage ratio of LSD to humans. In London, where reaction to LSD has been extremely varied, he said.

Dr. L. J. West, Dr. Chester Pierce, chief of

(continued on Page 3, Column 3)



Dr. L. J. West bends over Tusko as Dr. Warren Thomas looks on.

Court Ruling Draws Blast By Governor

Fiery Criticism Comes in Wake Of Majority View

By Bill Parsons

The federal court has chosen to take stock legislature to go out and bury itself," Gov. Edmundson said Friday of yesterday's court decision.

He termed the court's decision "complex & unusual," he said.

Edmundson said he didn't think the legislature would reappropriate already federal money for the 1963 session, and he thought the court was "unfair" in asking them to do so.

Edmundson added, as an expression of personal opinion in some respects. I wouldn't blame the legislature if they did," he said.

Criticism Continues

Continuing his criticism of the decision, Edmundson said, "The federal court has already found that these

2-1 Decision Leaves Action To Legislature

By Ray Parr

In a 2-1 decision, Oklahoma's three-judge federal court Friday rejected the 1961 legislature's March 6 map reappportionment on a population basis and said it at the coming session does not meet the standard the court will require for judicial order.

Gov. Frank M. Edmundson, Andrew A. P. Marrath and Fred Thompson said specifically that the scheduled November 6 general election is not affected by the court's order of June 15, which held previous apportionment unconstitutional and void and voided apportionment for all future elections.

Judge Ross Ely, Republican member of the court, filed a dissenting opinion in which he said the court "are not only obliged to the people of Oklahoma . . . to reappportion the Oklahoma Legislature and do it now."

The decision came as a disappointment to those groups seeking immediate reappportionment of the 1962 legislature, but was a welcome reprieve to legislative committees and house and senate committees whose political careers hung in the balance.

In the ruling means that the 1962 legislature will be the first to sit under a new reappportionment, which will bring sweeping changes in a system that has existed since statehood. It will end rural domination of the Oklahoma legislature and give metropolitan centers a big

Abb. 1. Titelseite von *The Daily Oklahoman* vom 4. August 1962, Vol. 71, Nr. 211.

sollte LSD verabreicht bekommen, um eine Verhaltensänderung herbeizuführen, „that might resemble the phenomenon of going on musth“ (ebd.). Die Dosierung des Halluzinogens wurde aufgrund des Vergleichs zu Einnahmemengen bei Menschen und in Tierversuchen bestimmt. Wie West, Pierce und Thomas schreiben, führt die Einnahme von 0,2 Milligramm pro Kilogramm Körpergewicht beim Menschen zu starken Veränderungen der Wahrnehmung und des Verhaltens. Tödliche Dosen seien trotz bekannten Missbrauchs beim Menschen nicht beobachtet worden. Bei Tierversuchen wurden sehr viel höhere Dosierungen verabreicht, da etwa Makakenaffen oder Katzen offenbar über einen Abwehrmechanismus verfügen. West, Pierce und Thomas berichten hierbei von einem Milligramm LSD pro Kilogramm Körpergewicht. Dem rund drei Tonnen schweren Tusko sollten insgesamt 297 Milligramm verabreicht werden, was etwa 0,1 Milligramm pro Kilo entspricht. Diese Dosierung hätte beim Menschen relativ starke, bei Affen und Katzen indes nur geringe Wirkung. „[W]e considered that the elephant possessed substantial resistance to neurotropic agents and predicted that we were unlikely to see much reaction with this dosage of LSD“ (ebd.).

Am 2. August 1962 wurde Tusko ein Plazebo injiziert und sein nachfolgendes – normales – Verhalten gefilmt. Um acht Uhr am darauffolgenden Tag bekam Tusko auf dieselbe Weise das Halluzinogen verabreicht. Nach drei Minuten erschien er orientierungslos, nach fünf fiel er schwer auf die Seite, „and went into *status epilepticus*. [...] The eyes were closed and showed a spasm of the orbicularis oculi [...]. The mouth was open, but breathing was extremely labored and stertorous [...]. The tongue, which had been bitten, was cyanotic“ (ebd.). Nach zwanzig Minuten, als sich deutlich abzeichnete, dass die Dosierung eine andere, wesentlich stärkere Wirkung hatte als angenommen, verabreichten die Forscher dem Tier ein Gegenmittel. Dies brachte die Symptome geringfügig zum Abklingen, aber: „Despite a last-minute effort to save the animal with an intravenous injection of pentobarbital sodium, he died 1 hour and 40 minutes after the LSD had been injected. A necropsy confirmed the impression of death by strangulation secondary to laryngeal spasm“ (ebd.).

Das im Dezember 1962 in *Science* publizierte Paper, aus dem diese Informationen und Zitate stammen, führt die abschließenden Untersuchungen am toten Elefanten sowie die Schlussfolgerungen der Autoren auf. Trotz des völligen Scheiterns des Experiments wird das Vorgehen weiterhin affirmativ als „chemically induced pseudo-musth“ bezeichnet (West et al. 1962: 1102). Abschließend weisen die Autoren als Erkenntnis aus, dass auch Menschen an einer Überdosis LSD sterben könnten, was bis dahin weitgehend ausgeschlossen worden war. Neben diesen Schlussfolgerungen findet sich allerdings auch ein Abschnitt über die Methode zur Berechnung der verabreichten Dosis. Die Autoren vermuten, dass sich das LSD ungleich im Körper verteilt, genauer gesagt im Nervensystem konzentriert haben könnte. „If such were the case, the calculation of LSD dosage on the basis of milligrams per killigram [sic!] of total body weight would be inappropriate, and other criterion, such as brain size, should be considered. The brain of the mature elephant is about three to four times the size of man’s“ (ebd.). An diesem Zitat ist zweierlei für den vorliegenden Beitrag interessant: Erstens sei hier nochmals auf das mit „sic!“ gekennzeichnete Wort „killigram“ hingewiesen. Da hier gegenüber dem korrekten „kilogram“ gleich zwei Buchstaben fehlerhaft sind und sich mit dem Wort „kill“ ein neuer, im Kontext des Aufsatzes unmittelbar schlüssiger Sinn ergibt, könnte dies absichtlich so gesetzt worden sein. Vielleicht war ein Lektor oder Setzer der Meinung, dass der *elephant in the room* in dem auf fast zynische Weise sachlich gehaltenen Aufsatz wenigstens einmal beim Namen

genannt werden müsste. Zweitens ist der radikale Unterschied der Dosierungsbemessung hervorzuheben: Während der Elefant etwa so viel wiegt wie 45 Menschen, entspricht das Gewicht seines Gehirns nur dem von drei menschlichen Gehirnen. Daher, so legen die Autoren nahe, wäre vielleicht nur das Drei- anstatt des 45fachen der bei Menschen üblichen Dosis zu verwenden gewesen. Dieser gewaltige Unterschied wirft ein gretes Licht auf das im Folgenden thematisierte Phänomen der Skalierung bei Experimenten.

Die Verlockungen des linearen Denkens

Der Physiker Geoffrey West hat im Zusammenhang mit dem Experiment seines Namensvetters und dessen Kollegen von einer „seductive trap of linear thinking“ (West 2017: 53) gesprochen und damit auch den Titel des vorliegenden Beitrags gestiftet. Geoffrey West, dessen Vorname hier zur besseren Unterscheidbarkeit stets mitgenannt wird, führt näher aus: „The calculation of how big a dosage should be used on Tusko was based on the implicit assumption that effective and safe dosages scale *linearly* with body weight so that the dosage per kilogram of body weight was presumed to be the same for all mammals. The 0.1 milligram per kilogram of body weight obtained from cats was therefore naively multiplied by Tusko’s weight, resulting in the outlandish estimate of 297 milligrams, with disastrous consequences“ (West 2017: 53). Die selten verwendete und bereits darin Außergewöhnliches anzeigende Metapher „outlandish“ charakterisiert ein befremdliches Ausmaß der verabreichten Überdosierung. Wie Geoffrey West ausführt, hätte nicht das Körperfge wicht, sondern die Metabolismusrate den Ausschlag geben müssen, die wiederum von der Gesamtgröße der Oberfläche der beteiligten Zellmembrane abhängt. „As a result, the dose-determining factor is to a significant degree constrained by the scaling of the surface areas than the total volume or weight of an organism, and these scale *nonlinearly* with weight“ (West 2017: 54). Einer solchen Berechnung zufolge hätte Tusko nur wenige Milligramm statt knapp dreihundert verabreicht bekommen müssen. Wäre so verfahren worden, so schließt Geoffrey West, dann hätte der Elefant ohne Zweifel überlebt und die Experimentatoren wären zu weitreichend anderen und substanziell nützlicheren Schlüssen gekommen.

Könnte man einen Elefanten einfach vergrößern oder verkleinern, dann würde seine Masse in einem stärkeren Maß zu- oder abnehmen als etwa die Gesamtfläche seiner Haut oder eben die Gesamtoberfläche der am Metabolismus beteiligten Zellen. Hierbei spielt das sogenannte A/V-Verhältnis oder *Square-Cube-Law* eine

zentrale Rolle. Es besagt, dass bei wachsendem Volumen die Oberfläche quadratisch wächst, das Volumen hingegen kubisch (vgl. z. B. Allen 2014: 176 ff.). Für die Biologie folgerte der Biologe D'Arcy Wentworth Thompson bereits 1917 im ersten Kapitel von *On Growth and Form*: „From these elementary principles a great many consequences follow, all more or less interesting and some of them of great importance“ (Thompson 1945: 23). Wegen dieser und anderer physikalischer Gesetze sei Größe nicht einfach bloß relativ im Sinne des Vergleichs zweier Gegenstände, sondern auch in Relation zu den physikalischen Kräften: „[S]cale‘ has a marked effect on physical phenomena, and [...] increase or diminuition of magnitude might mean a complete change of statical or dynamical equilibrium. In the end we begin to see that there are discontinuities in the scale, defining phases in which different forces predominate and different conditions prevail“ (Thompson 1945: 77). Dieser „effect of scale“ (Thompson 1945: 17, Tate/Atkinson 2001, xii und 172) werde nicht durch ein Objekt bzw. eine seiner Eigenschaften allein verursacht, sondern ergebe sich aus der Verbindung mit seiner gesamten Umgebung, seinem spezifischen Aktions- und Reaktionsfeld im Universum (Thompson 1945: 24). Wird die Größe dieses Objekts verändert, dann steht es in anderem Verhältnis zu dem umgebenden Kräftegefüge, das Wechselwirkungsgefüge verändert sich, ebenso das Objekt und schließlich auch der Verlauf eines an diesem durchgeführten Experiments.

Die „seductive trap of linear thinking“ (West 2017: 53), von der Geoffrey West spricht, kann als ein Schüsselproblem allen Experimentierens betrachtet werden, in das in irgendeiner Form Größenverschiebungen involviert sind. Es besteht gewissermaßen aus zwei Ingredienzien: Erstens dem Umstand, dass sich manche Eigenschaften eines Gegenstandes der Bezugnahme nichtlinear verändern, wie dies etwa durch das *Square-Cube-Law* exemplifiziert wird. Eine durchaus kanonische allgemeinere Bestimmung hierfür stammt von dem Schriftsteller Paul Valéry, in dessen Dialog *Eupalinos oder der Architekt* es heißt: „Alles ändert sich mit der Größe. [...] Wenn eine bestimmte Eigenschaft des Dinges wächst in arithmetischem Verhältnis, so verschieben sich die anderen in anderer Weise“ (Valéry 1992: 75).

Hinzu kommt das Phänomen der Grenz- oder Schwellenwerte, *Thresholds* oder *Tipping-Points*, die zwei Größenordnung von einander trennen. D'Arcy Thompson bezeichnet diese Grenzen im oben angeführten Zitat als „discontinuities in the scale“ (Thompson 1945: 77) und die Bereiche dazwischen als „phases in which different forces predominate and different conditions prevail“ (ebd.).

Während die Oberfläche der am Stoffwechsel beteiligten Zellmembranen zwar nicht linear, aber immerhin noch in Form einer gleichmäßig abflachenden Kurve zunimmt, sind die aus diesem nichtlinearen Anwachsen folgenden Ereignisse schwer antizipierbar und teilweise chaotisch. Der Künstler György Kepes charakterisiert diese Ereignisse wie folgt: „Every magnitude has its own structure. If limits of scale are overrun, either a new level is reached or the old level collapses“ (Kepes 1956: 369). Der Tod des Elefanten Tusko kann als ein solches Phänomen angesehen werden. Bis zu einer bestimmten Dosis hätte der Elefant vermutlich immer stärkere Symptome gezeigt, das Experiment aber letztlich überlebt. Ab der Überschreitung des Schwellenwertes hingegen hätte sich sein Zustand ab irgendeinem Punkt rasant, bis hin zum Tode, verschlechtert. Gemessen an der Dosis sind also zwei Größenordnungen zu beobachten: eine, bei der der Elefant überlebt, und eine, bei der er stirbt, zwei „phases in which different forces predominate and different conditions prevail“ (Thompson 1945: 77). Dazwischen verläuft jene Linie oder Zone, die mit D’Arcy Thompson als „discontinuity of scale“ (ebd.) und mit Kepes als „limit of scale“ (Kepes 1956: 369) bezeichnet werden kann.

Das zweite Ingredienz der „seductive trap of linear thinking“ ist eben die in Geoffrey Wests Formulierung benannte Verführung. Lineares Denken kann als zentrales Element der Antizipation und damit auch der Planung von Experimenten bezeichnet werden. Lineare Veränderungen von Eigenschaften bei der Skalierung sind einfach und daher bequem sowohl zu antizipieren als auch zu kontrollieren. Sie erfordern keinen oder nur vergleichsweise geringen theoretischen und methodischen Aufwand, sondern fungieren im Gegenteil als Referenzen für dasjenige, was zu beobachten sich die Experimentatoren vorgenommen haben. Lineares Denken gehört sozusagen zur Registratur, die die aus einem Experiment hervorgehenden Datenströme aufnehmen, einordnen und für die Theoretisierung präparieren soll. Nichtlineares Verhalten hingegen ist vielfach extrem komplex und schwierig, mitunter gar nicht zu antizipieren. Unbeabsichtigtes nichtlineares Verhalten eines Elements innerhalb eines Experiments kann daher als das unvermittelte Auftauchen eines zusätzlichen Forschungsgegenstandes verstanden werden, den sich die Experimentatoren *nicht* zu beobachten vorgenommen haben. Hinsichtlich der forschungsleitenden Frage werden solche Experimente üblicherweise als gescheitert angesehen.

„Hindernis“ und „fruchtbare Mutter neuer Gedanken“

Die nichtlineare Veränderung des Settings ist zumeist durch Plötzlichkeit und Unumkehrbarkeit gekennzeichnet, beides hier exemplifiziert durch den Tod des Elefanten Tusko. Bei der Überschreitung der „limits of scale“ (Kepes 1956: 369) werden vielfach die soeben noch funktionstüchtigen Maßstäbe wertlos und müssen durch andere, zumeist noch nicht identifizierte ersetzt werden. Vergleiche zwischen den Zuständen vor und nach der Überschreitung sind nur unter erheblichem Aufwand aussagekräftig, zumeist jedoch in keiner Weise sinnvoll oder angemessen. Grundsätzlich bieten sich mindestens zwei Optionen: einerseits, das Experimentaldesign so zu verändern, dass das nichtlineare Verhalten nicht auftritt, oder andererseits, das neu und unerwartet aufgetauchte Phänomen zum Forschungsgegenstand zu erheben und sich damit bezüglich der Fragestellung des Experiments grundlegend umzuorientieren. Die zweite Option kommt dann zur Anwendung, wenn das aufgetretene Phänomen Aussichten auf interessantere Erkenntnisse verspricht. Eine solche Umorientierung wird zudem durch einen Denkstil begünstigt, der dem Zufall im Experiment Raum lässt. Man könnte hier von einer skalierungsspezifischen Form von Serendipität sprechen. Aus vergleichbaren Gründen hat Georg Christoph Lichtenberg die Skalierung sogar in die Nähe einer Art Kreativitätstechnik gerückt: „Alles zu vergrößern und zu sehen, was entstehen könnte wenn man Eigenschaften wachsen lässt, und die grössten Dinge abnehmen lassen in eben der Absicht. Dieses ist eine fruchtbare Mutter neuer Gedanken“ (Lichtenberg 1975: 301). Lichtenberg hat bei seinen Experimenten immer wieder beobachtet, dass durch die Veränderung der beteiligten Größen neue Phänomene auftreten können. Die Formulierung „was entstehen könnte“ unterstreicht diese Erfahrung noch einmal und wendet sie in eine Erwartungshaltung um. Sie wird selten enttäuscht.

Lichtenberg hat sich in seinen Schriften und Sudelbüchern immer wieder mit Fragen der Skalierung auseinandergesetzt, wobei ihn vor allem das Auftauchen neuer Phänomene interessierte. So schreibt er: „Wenn man das mittelländische Meer im kleinen vorstellen wollte, so riskierte man, daß es an einem warmen Tage einmal vertrocknete. Schlüsse hieraus auf Modelle und Versuche im kleinen überhaupt“ (Lichtenberg 1975: 314). Lichtenberg vermeidet hier vermutlich bewusst eine Bewertung des Geschehens, weil er die Skalierung nicht nur als Erkenntnishindernis, sondern auch als eine „fruchtbare Mutter neuer Gedanken“ kannte.¹ Das ausgetrocknete Mittelmeermodell kann daher als Exemplum sowohl eines kreativen als auch eines erkenntnishemmenden Skalierungs-

vorgangs verstanden werden: „Was [auf] Seite LXIV von dem Verkleinern des Mittelländisches Meeres gesagt ist, könnte auch eine allgemeine Hindernis bei chemischen Versuchen im kleinen werden“ (Lichtenberg 1975: 315). Hier ist nun wieder von einem Hindernis die Rede, womit die Bandbreite an strukturellen Konsequenzen beschrieben ist, die durch nichtlineare Experimentverläufe evoziert werden können. Auf diese Weise kann ein Experiment an dem Neuen scheitern, das es zutage fördert. Skalierungseffekte können ein Experiment in den Abgrund der Komplexität stoßen, dieses Neue aber auch erstmals vor fokussierte und kompetente Augen führen. Wissenschaftsgeschichtlich sind beide Funktionen von größter Bedeutung, einmal als persistenter Erkenntniswiderstand, einmal als Quelle einzigartiger Einsichten.

Aufgrund des Phänomens der Skalierungseffekte ist es zudem möglich, in Skalenmodellen stets auch Versuchsanordnungen zu sehen, bei denen im Sinne Lichtenbergs etwas vergrößert oder verkleinert wird, um „zu sehen, was entstehen könnte wenn man Eigenschaften wachsen lässt“ (Lichtenberg 1975: 301). In gestalterischen Prozessen wie etwa der Architektur hat dieses Verfahren teilweise den Rang einer Routine angenommen. So berichtet Albena Yaneva in ihrem Aufsatz „Scaling Up And Down“ (Yaneva 2005) von der Verwendung zweier verschiedener Modellformate am Office for Metropolitan Architecture, zwischen denen die Entwerfenden hin- und herwechseln. Da in den unterschiedlichen Formaten unterschiedliche Aspekte sichtbar werden können, ermöglicht die Verwendung zweier Modellformate eine feinmaschigere Suche nach Lösungen, als dies bei einem einzigen Maßstab der Fall wäre. Beim abschließenden Skalensprung in die Baustelle kommt dann ein weiterer Maßstab hinzu, der dann wiederum neue Aspekte sichtbar macht, auf die es gestalterisch und planerisch zu reagieren gilt. Hierbei handelt es sich um architektonisch-künstlerische Skalierungsexperimente, bei denen Skalierungseffekte nicht eliminiert, sondern gezielt herbeigeführt und ausgewertet werden.

Schluss

Tuskos Tod und Lichtenbergs Geburt neuer Gedanken liefern im vorliegenden Beitrag Metaphern für die Bandbreite an Auswirkungen von Skalierungseffekten beim Experimentieren. Ob ein Experiment den „Tod“ einer Hypothese oder die „Geburt“ einer

¹ Er wäre übrigens nicht erstaunt, sondern eher höchst erfreut, zu erfahren, dass sein ausgetrocknetes Mittelmeermodell die Entdeckung der sogenannten Messinischen Salinitätskrise in den 1970er Jahren vorweggenommen hat. Hierbei handelt es sich um die Erkenntnis, dass das Mittelmeer am Ende des Miozäns weitgehend ausgetrocknet ist (Krijgsman et al. 1999).

neuen herbeiführt, liegt vielfach an der Haltung der Experimentierenden. So hat der unselige Ausgang des Experiments von West, Pierce und Thomas die Autoren bedauerlicherweise nicht zu bedeutenden Einsichten geführt, obwohl sie greifbar gewesen wären, eben über den Phänomenkomplex der Skalierung und damit einen zentralen Faktor des Experimentierens. Derlei Reflexionen aber mögen außerhalb des Verfügungsbereichs oder Interessenfeldes der Forscher gelegen haben. Vielleicht waren sie zu sehr an der Erschaffung eines neuen Paradigmas namens „Psychobiologie“ interessiert, um die letztlich bedeutendere Frage nach dem Zusammenhang von Biologie und Skalierung durch ihren Versuch berührt zu sehen. Bereits 1926 hatte der Biologe J. B. S. Haldane deren Erforschung zum Desiderat erhoben, indem er schrieb: „The most obvious differences between different animals are differences of size, but for some reason the zoologists have paid singularly little attention to them“ (Haldane 1956: 952). D’Arcy Thompson hat die Frage der Größe in der Biologie etwas später etabliert, aber offenbar nicht stark genug, um West, Pierce und Thomas darauf zu verpflichten, sie bei der Auswertung ihres Versuchs zu berücksichtigen. Eine Vielzahl von Publikationen hat Haldanes Klage inzwischen vergessen gemacht und die Biologie zu einem der Kompetenzfächer für die Skalierungsfrage werden lassen.² West, Pierce und Thomas aber waren in der Überzeugung gefangen, dass ihr Experiment gescheitert sei, und übersahen deshalb Einsichten in die Prinzipien der Skalierung, die sich ihnen hier boten. Hätten sie ihre „scale blindness“ (Klee 2008: 92) überwinden können, so hätten sie einen nicht zu unterschätzenden Beitrag zu dieser disziplinären Hinwendung zum Gegenstand der Skalierung leisten können.

² Siehe beispielsweise Schmidt-Nielsen (1984), Jungers (1985) McGowan (1999), Brown/West (2000) und Samars (2007).

Literatur

- Allen, David H. (2014): *How Mechanics Shaped the Modern World*. Heidelberg et al.: Springer.
- Boudon, Philippe (1991): *Der architektonische Raum. Über das Verhältnis von Bauen und Erkennen*, Basel et al.: Birkhäuser.
- Boudon, Philippe (2002): „L'échelle en architecture. Règle ou pertinence de la règle“, in: Ders.: *Échelle(s)*. Paris: Collection La bibliothèque des formes, S. 93–101.
- Brown, James H. und West, Geoffrey Brian (2000): *Scaling in Biology*. Oxford et al.: Oxford University Press.
- Haldane, John Burdon Sanderson (1926): „On Being the Right Size“, in: Newman, James (Hg.) (1956): *The World of Mathematics*. Vol. 2, V–VII, Mineola NY: Dover, S. 952–972.
- Jungers, William L. (Hg.) (1985): *Size and Scaling in Primate Biology*. New York: Plenum Press.
- Kepes, György (1956), *The New Landscape in Art and Science*. Chicago: Paul Theobald and Co.
- Klee, Robert (2008), „Physical Scale Effects and Philosophical Thought Experiments“, in: *Metaphilosophy*, Vol. 39, Nr. 1, S. 89–104.
- Krijgsman, Wout; Hilgen, Frederik Johan; Sierra Sánchez, Francisco Javier und Wilson, Doug (1999): „Chronology, Causes and Progression of the Messinian Salinity Crisis“, in: *Nature*, Vol. 400, S. 652–655.
- Lichtenberg, Georg Christoph (1975): *Schriften und Briefe*, Zweiter Band. Sudelbücher II, Materialhefte, Tagebücher, hg. v. Wolfgang Promies, München: Hanser.
- McGowan, Christopher (1999): *A Practical Guide to Vertebrate Mechanics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Samaras, Thomas (Hg.) (2007): *Human Body Size and the Laws of Scaling. Physiological, Performance, Growth, Longevity and Ecological Ramifications*. New York: Nova Science Publishers.
- Schmidt-Nielsen, Knut (1984): *Scaling. Why is Animal Size so Important?*. Cambridge et al.: Cambridge University Press.
- Tate, Nicholas und Atkinson, Peter M. (Hg.) (2001): *Modelling Scale in Geographical Information Science*. Chichester/New York: Wiley.
- Thompson, D'Arcy Wentworth (1945): *On Growth and Form*. Cambridge/New York: Cambridge University Press.
- Valéry, Paul (1992): „Eupalinos oder der Architekt“, in: Ders.: *Werke*, hg. v. Jürgen Schmidt-Radefeldt, Bd. 2: Dialoge und Theater. Frankfurt am Main: Insel, S. 7–85.
- West, Geoffrey Brian (2017): *Scale. The Universal Laws of Growth, Innovation, Sustainability, and the Pace of Life in Organisms, Cities, Economies, and Companies*. New York: Penguin Press.
- West, Louis Jolyon; Pierce, Chester M. und Thomas, Warren D. (1962): „Lysergic Acid Diethylamide: Its Effects on a Male Asiatic Elephant“, in: *Science*, Vol. 138, Issue 3545, S. 1100–1103.
- Yaneva, Albena (2005): „Scaling Up And Down: Extraction Trials in Architectural Design“, in: *Social Studies of Science*, Vol. 35, Nr. 6, S. 867–894.