

## SELBSTORGANISATION IN NICHTLINEAREN SYSTEMEN über das Triptychon der Hörbilder *dripping, windscaapes* und *sono taxis*

von Andreas Bick

*Betrachten wir die Geschichte der Naturwissenschaft, so entdecken wir zwei einander entgegengesetzte Phänomene: Hier verbirgt sich hinter scheinbarer Komplexität das Einfache. Dort birgt das scheinbar Einfache eine außerordentliche Komplexität.“*

Henri Poincaré

Das Triptychon der Hörbilder *dripping, windscaapes* und *sono taxis* stellt die Klangphänomene von Wassertropfen, Windgeräuschen sowie Heuschrecken- und Froschgesängen in den Mittelpunkt. Die allen drei Werken zugrunde liegende Perspektive ist ein seit etwa 30 Jahren die Naturwissenschaften durchdringendes neues Denken, vor dessen Hintergrund die als klischeebeladen und verbraucht geltenden Naturklänge in einem neuen Licht erscheinen. Im Folgenden soll dieses neue Denken skizziert werden.

Unser Alltagsleben ist geprägt von Vorgängen, die wir intuitiv mit einfachen Kausalitätsgesetzen erklären können: gleiche Ursachen haben gleiche Wirkungen. Dieses physikalische Weltbild geht zurück auf Sir Isaac Newton, dessen Gravitationsgesetze auf elegante Weise das Verhalten von Körpern beschrieben und die Welt als einen gigantischen Mechanismus erscheinen ließen, der wie ein Uhrwerk funktioniert. Das Paradigma des Determinismus war geboren, wonach alle Geschehnisse vorhersagbar wären, solange nur genügend Kenntnis über Ort und Geschwindigkeit aller Materieteilchen des Universums bestehe („Laplacescher Dämon“). Diese streng mechanistische Denkweise wurde erst im 20. Jahrhundert aufgebrochen, zuerst durch den französischen Mathematiker Henri Poincaré, der auf Systeme stieß, deren Verhalten unvorhersehbar war, obwohl alle zugrunde liegenden physikalischen Gesetze bekannt waren. Seine Erkenntnisse wurden durch die zufällige Entdeckung des amerikanischen Meteorologen Edward Lorenz in den 60er Jahren bestätigt, der bei der Untersuchung von Wetterdaten Prozesse fand, in denen geringfügige Änderungen der Anfangsbedingungen teilweise dramatische Veränderungen oder gar völlig irreguläres Verhalten des Systems zur Folge hatten. Lorenz prägte auch das Bild vom „Schmetterlingseffekt“, wonach der Flügelschlag eines Schmetterlings unter Umständen irgendwo anders auf der Welt einen Tornado auslösen könnte. Ein Paradigmenwechsel setzte ein: das deterministische Weltbild bleibt zwar für unser Alltagsverständnis weiterhin gültig, doch bei genauer Untersuchung vieler Abläufe in der Natur sind diese mit mechanistischen Erklärungsmodellen nicht mehr zu beschreiben (kleine Ursachen können große Wirkungen haben).

Unregelmäßige und scheinbar zufällige Bewegungen in der Natur werden „deterministisches Chaos“ genannt. Die mathematische Definition dieses Begriffes besagt, dass das Verhalten eines Systems durch Differentialgleichungen beschreibbar ist („deterministisch“), allerdings ein irreguläres und nicht vorhersehbares Zeitverhalten aufweist („Chaos“). Die Systeme, deren Verhalten sich durch deterministisches Chaos auszeichnen, werden „nichtlineare Systeme“ genannt, sie sind von rein regulären (periodischen) sowie zufälligen (stochastischen) Prozessen zu unterscheiden. Im Gegensatz zu unserem mechanistischen Weltbild sind nichtlineare Systeme in der Natur eher die Regel als die Ausnahme. Strömende Flüssigkeiten und Turbulenzen, Konvektionsströme und Zirkulationssysteme der Atmosphäre, Klimamodelle, oszillierende chemische Reaktionen, biologische Ökosysteme, neurologische Systeme oder gesellschaftliche Prozesse lassen sich anhand der nichtlinearen Dynamik erklären.

Ein besonderer Bereich der nichtlinearen Dynamik sind Musterbildungsprozesse der Natur, wie man sie u. a. bei Korallen, Tierfellzeichnungen oder beim Pflanzenwachstum antrifft. Hier lassen sich nichtlineare Systeme beispielhaft untersuchen, da nur wenige Einflußgrößen für die Bildung von komplexen Mustern durch Rückkopplungseffekte und sich gegenseitig verstärkende Prozesse verantwortlich zeichnen. Die besondere Eigenschaft dieser nichtlinearen Systeme ist, immer wieder Muster eigener Identität ähnlich eines Fingerabdruckes zu erzeugen - kein Muster gleicht dem anderen. Die vielfältigen Pigmentmuster auf tropischen Schneckenschalen stellen ein herausragendes Modell für diese Musterbildungsprozesse dar. Die Zeichnungen entstehen entlang der Wachstumskante der Schneckenschale durch Überlagerungen chemischer Reaktionen. Jede Schale entwickelt ein individuelles Muster, wobei jede Schneckenart ihr eigenes „Strickmuster“ besitzt, das sich durch Differentialgleichungen beschreiben und von anderen Arten abgrenzen lässt („Wie Schnecken sich in Schale werfen“ – Hans Meinhardt). Weitere Beispiele sind - und hier schließt sich der Kreis zu den eingangs genannten Hörstücken - der „chaotisch tropfende Wasserhahn“, die Dünen- und Sandrippelbildung in der Wüste sowie die Interaktionsmuster von Heuschrecken und Fröschen.

Der „chaotisch tropfende Wasserhahn“ ist eines der klassischen Experimente der Chaosforschung. Es geht zurück auf Untersuchungen von Robert Shaw und Kollegen von der University of California in Santa Cruz, die im Tropfverhalten von Wasserhähnen beim Übergang von periodischem Tropfen zum beständigen Fließen chaotisches Verhalten entdeckten. Mit Hilfe von Mikrofonen und Lichtschranken maßen sie das nichtperiodische Verhalten der Wassertropfen. Zu ihrer Überraschung ließen sich die Daten grafisch als so genannte „seltsame Attraktoren“ abbilden, was auf deterministisches Chaos als Verhaltenshintergrund hinweist und mathematisch moduliert werden konnte. Für das Hörstück *dripping* wurde diese Versuchsanordnung erweitert um mehrere Tropfmündungen pro Wasserzufuhr, wodurch ein sich wechselseitig beeinflussendes Netz dichter Rhythmen entstand. Durch Kombinationen verschiedener Klangkörper unterhalb der Tropfvorrichtung ließen sich die komplexen rhythmischen Muster akustisch abbilden und klanglich ausdeuten.

Das Hörstück *windscapes* übersetzt die Sandrippelmuster auf Wüstendünen in akustische Rhythmusstrukturen. Die Entstehung der Rippelmarken und auch der Dünen selbst kann nach Hiraku Nishimori und Noriyuki Ouchi von der japanischen Ibaraki University als nichtlineares System verstanden und mit Differentialgleichungen beschrieben werden. Danach bilden die Parameter des Windes, des Sandes und der Schwerkraft ein einfaches System, in dem eine kleinste Zusammenballung von Sandkörnern einen selbstverstärkenden Effekt auslöst, der zu einer Rippelmarke führt, in deren Windschatten sich zwangsläufig weitere Rippel bilden. Das gleiche Prinzip gilt für die Entstehung von Dünen, die sich, aus dem Flugzeug betrachtet, häufig zu ganz ähnlichen Mustern zusammenschließen wie die Sandrippel. Sandkorn für Sandkorn sind hier einfachste Prozesse am wirken, die auf makroskopischer Ebene komplexe Muster von grenzenloser Vielfalt erzeugen. In *windscapes* wurden diese Muster in akustische Informationen übersetzt, indem aus Fotografien von verschiedenen Sandrippelmarken akustische Steuerimpulse gewonnen und mit Hilfe von Vibrationslautsprechern auf waagrecht aufgespannte Papierbögen übertragen wurden. Auf den Papierbögen verteilter Sand formierte sich erstaunlicherweise spontan zu dünenähnlichen Mustern und wanderte analog zu Wanderdünen über das Papier. Aufnahmen dieser Sandbewegungen bildeten die Grundlage für die rhythmischen Kompositionsteile von *windscapes*, in denen sozusagen akustisch der Entstehung von Sandrippeln aus einem einzelnen Sandkorn nachgehört werden kann.

Ähnliche wissenschaftliche Untersuchungen stehen für die akustischen Interaktionsmuster von Heuschrecken und Fröschen noch aus, allerdings ist es nahe liegend, auch hier ähnliche nichtlineare Prozesse zu vermuten. Heuschrecken wie auch Frösche besitzen vor allem zum Zwecke der Fortpflanzung einen artspezifischen akustischen Code, der sich über Tonhöhe und zeitliche Gliederung der Rufe definiert. Diese Art der Kommunikation wird in der

Biologie „Phonotaxis“ genannt und gilt als die wohl ursprünglichste Form akustischer Interaktion in der Tierwelt schlechthin. Sobald sich mehrere Individuen einer Art zu Rufgemeinschaften zusammenschließen oder durch die räumliche Begrenztheit eines Lebensraums in Konkurrenz zueinander treten, können bestimmte kollektive Phänomene entstehen, die mehr als nur die Summe der Einzelgesänge darstellen. Die Synchronisation der Einzelrufe ist das häufigste Beispiel hierfür, es können aber auch komplexere Gesangsmuster entstehen, wenn die einzelnen Tiere beispielsweise versuchen, ihre Rufe in die Gesangspausen der benachbarten Individuen zu setzen. Außerdem führt oft der Versuch, einen Wettbewerbsvorteil dadurch zu erlangen, sich gegenseitig an Lautstärke zu übertönen, dazu, dass sich die Gesänge der Rufgemeinschaft immer mehr aufschaukeln, bis abrupt die Gesänge abreißen und von Neuem anschwellen. Verschiedenste Originalaufnahmen von solchen Interaktionsmustern wurden in *sono taxis* untersucht und bildeten die Grundlage für die rhythmischen Teile der Komposition. Das außerordentlich dichte Klanggewebe des Dschungels wird als ein akustischer Organismus verstanden, der vor allem durch die in Konkurrenz zueinander stehenden Heuschrecken-, Grillen- und Froscharten im Kampf um ihre akustischen Nischen entsteht.

Die Beispiele der drei Hörstücke zeigen, dass sich auf der Ebene der kleinsten Einheit Prozesse ereignen, die sich im größeren Zusammenhang auf faszinierende Weise zu kollektiven Phänomenen bündeln. Im Gegensatz zur herkömmlichen Denkweise („das Ganze ist die Summe seiner Teile“) bilden Musterbildungsprozesse komplexe Strukturen aufgrund von scheinbar chaotischem Verhalten einzelner Elemente, die sich im Zusammenspiel zu qualitativ höherstehenden Strukturen formieren („Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile“). Dieses Phänomen wird in verschiedenen naturwissenschaftlichen Bereichen als „Selbstorganisation“ bezeichnet und als treibende Kraft im Hintergrund vieler Entwicklungsvorgänge angesehen. Selbst die evolutionäre Entstehung von Leben generell auf der Erde betrachtet man heute als das Ergebnis eines gigantischen Selbstorganisationsprozesses der Materie, in dessen Verlauf sich das Leben allmählich aus der molekularen Ursuppe entwickelt hatte („Molecular self-organization of matter and the evolution of biological macromolecules“ - Manfred Eigen).

Die Natur ist ein hochgradig vernetztes System, das sich durch eine äußerst komplexe Verwobenheit von Chaos und Ordnung auszeichnet. Die beschriebenen Musterbildungsprozesse sind wie kleinste zitternde Knoten in einem Netz ineinander verwobener Rhythmen und Zeitskalen, die die ihnen zu Grunde liegenden Entwicklungsgesetze immer wieder aufeinander anwenden. Der Natur sind keine starren Taktgeber eigen, wie wir sie seit der Erfindung mechanischer Uhrwerke kennen und aus denen sich unser lineares Zeitverständnis speist. Die Zeit der Natur ist eine zyklische, die bei jedem Durchlaufen einer Zeitschleife sich nuancenhaft der Umgebung anpasst. Die Natur kennt keine gleichen Vorgänge, nur ähnliche, jede Wiederholung ist durch feinste Änderungen und Imperfektionen gekennzeichnet. Die „Unschärfe“ in den Rhythmen der Natur ist gar eine unabdingbare Voraussetzung für die Flexibilität und Stabilität ihrer Systeme.

Dieses Verständnis von Rhythmus und Zeit bildet die gemeinsame Grundlage der Hörstücke *dripping*, *windscapes* und *sono taxis*. Die polyrhythmischen Strukturen der Musterbildungsprozesse folgen nicht einem Takt oder einem festen Metrum, eher bewegen sich mehrere Pulse gleichzeitig auf verschiedenen Zeitachsen, die sich wie unter dem Einfluss von Gravitationskräften einander anziehen und abstoßen. Rhythmische Schwerpunkte oder Zählzeiten verschwimmen, durch die Vieldeutigkeit des Materials entsteht ein hypnotisches Spannungsfeld repetitiver Muster. Aus diesen typischen Qualitäten der Musterbildungsprozesse wurde eine Montagetechnik abgeleitet, die oft als „drifting pattern“ bezeichnet wurde. Diese Art von Schnitttechnik sollte der Eigendynamik der nichtlinearen Prozesse folgen, indem Passagen der polyrhythmischen Muster immer wieder mit einer gewissen Unschärfe wiederholt werden. Hierdurch wurde es auch möglich, zu verschiedenen Zeitpunkten entstandene Aufnahmen auf organische Weise miteinander zu verzahnen. Bei

dieser Schnitttechnik bewegt sich ein Zeitfenster entlang eines gefühlten rhythmischen Pulses der Muster und verschiebt sich fortwährend bei jedem Schleifendurchlauf um einen kleinen Versatz, wodurch das Material immer wieder rhythmisch neu gedeutet wird. Der Versatz des Zeitfensters lässt sich aus dem Tempo eines zugrunde liegenden Pulses errechnen, wobei entscheidend ist, dass der Versatz sich nahe der Verschmelzungsfrequenz des menschlichen Gehirns bewegt. Bildhaft könnte man sich diese Montagetechnik wie die Scherenschnitttechnik vorstellen, bei der aus mehreren Kopien eines Bildes jeweils ein bestimmter senkrechter Bereich herausgeschnitten wird, dessen Bereich immer um einen bestimmten Wert in eine Richtung weiterrückt. Werden diese einzelnen Ausschnitte aneinandergereiht, entsteht ein horizontal gestrecktes Bild. Analog dazu ermöglicht die beschriebene Montagetechnik der „drifting pattern“ ein mikroskopisches Hineinhorchen und Ausdeuten der rhythmischen Muster, das Material wirkt vielfach gespiegelt und perspektivisch aufgefächert und es lässt sich gewissermaßen in Zeitlupe erleben, wie die verschiedenen Pulse sich auf ihren Zeitachsen kaleidoskopartig zueinander bewegen.

Die Kompositionstechnik der „drifting pattern“ stellt ein Werkzeug dar, mit dessen Hilfe das rhythmische Material fast schon auf empirische Art erschlossen werden kann. Erkenntnisgewinn wird durch das Durchspielen verschiedenster Muster und Kombinationen erzielt, die subjektive Befindlichkeit des Komponisten tritt hinter einem „Nachfühlen“ natürlicher Vorgänge zurück. Die Rolle des Komponisten ist in den drei Hörstücken die eines Zuhörenden und Lernenden, er versenkt sich in das sich selbst generierende Material und lässt es durch sich als Medium fließen. Dieses ergibt sich aus der Eigenart der beschriebenen nichtlinearen Prozesse, denen keine Geschichtlichkeit anhaftet wie dem sedimentartig aufgeschichteten Kulturschaffen des Menschen, auf das sich jeder Komponist üblicherweise beziehen muss. Die zu Grunde liegenden Naturphänomene und deren Deutung durch die nichtlineare Dynamik existieren jenseits menschlicher Innovationsbestrebungen, sie sind vielmehr eine der ursprünglichsten Entwicklungskräfte der „schöpferisch träumenden Natur“ (Thomas Mann), deren Zeichensprache so einfach scheint und sich doch nie ganz erschließt. Oder um den eingangs zitierten Worten Henri Poincarés zu folgen: das scheinbar Einfache birgt eine außerordentliche Komplexität, die uns auf seltsame Weise vertraut vorkommt, für deren letztes Verständnis uns aber der Schlüssel fehlt.

#### **Literatur:**

- H.G. Schuster – Deterministisches Chaos, Physik-Verlag, Weinheim 1984
- Klaus Mainzer (Hrsg.) – Komplexe Systeme und Nichtlineare Dynamik in Natur und Gesellschaft, Springer Verlag, 1999
- Wolfgang Metzler – Nichtlineare Dynamik und Chaos, Teubner B. G., 1998
- Ian Stewart – Spiel Gott Roulette? Birkhäuser Verlag, Basel 1990
- Werner Ebeling u.a. – Selbstorganisation in der Zeit, Akademie-Verlag, Berlin 1990
- Bernd Olaf Küppers (Hrsg.) – Ordnung aus dem Chaos, Piper, München 1987
- Hans Meinhardt – Wie Schnecken sich in Schale werfen, Springer Verlag, 1997