



© Wissenschaftskolleg

## Steven A. Frank, Ph.D.

Professor of Biology

University of California, Irvine

Born in 1957 in Rochester, N. Y., USA  
Studied Biology, Zoology, and Statistics at the University of Michigan, Ann Arbor  
and at the University of Florida, Gainesville

SCHWERPUNKT

### ARBEITSVORHABEN

## The Evolutionary Design of Biological Control Systems

I am organizing the Gene Regulation and Organismal Diversity focus group. My particular interest in this group concerns how natural selection shapes the biochemical control systems that regulate organismal form, physiology, and behavior. Natural selection designs regulatory control like an engineer, with close attention to the costs and benefits of each component and how the components work together. However, natural selection and the resulting evolutionary history do not exactly follow the textbooks of human engineering and design. Nature has its own logic. One problem is the tendency for natural selection to cause the deterioration in the performance of particular components within a system. The idea is that, as biological systems evolve mechanisms to make them more stable and less sensitive to environmental fluctuations, these protective mechanisms reduce the exposure of the internal components of the system to direct challenge by the environment. With less direct challenge to the internal components, there will be an inevitable tendency for these internal components to decay evolutionarily, because a weakening of environmental pressure typically leads to evolutionary decay. This process leads to a coupling of evolutionary improvement at the system level and evolutionary decay of internal components - a coupling between system robustness and internal maladaptation.

Another problem concerns variations in the regulatory control of bacterial metabolism. Evolution, having designed a system to transform sugar into energy once in early biological history, has mostly retained that system, but with variations. It is the variations in the regulatory control of metabolism that lead to fascinating questions. For example, a fundamental tradeoff occurs between how fast a cell can extract resources from the environment (rate) and how efficiently it can turn those resources into energy (yield). This rate-versus-yield tradeoff sets a fundamental design constraint on metabolism, the most basic process shared by all of life.

### Recommended Reading

- Frank, S. A. (2007). *Dynamics of Cancer: Incidence, Inheritance, and Evolution*. Princeton: Princeton University Press.  
Frank, S. A. (2002). *Immunology and Evolution of Infectious Disease*. Princeton: Princeton University Press.  
Frank, S. A. (1998). *Foundations of Social Evolution*. Princeton: Princeton University Press.

## Die Muster der Natur

In den Naturwissenschaften geht es darum, die Muster der Natur zu erklären. Zum Beispiel gibt es Bäume in verschiedenen Formen und Größen. Die Biologen und Biologinnen versuchen, die Muster von Bäumen zu erklären.

Wenn wir Muster erklären wollen, müssen wir Beschränkungen und Prozesse voneinander trennen. Zunächst müssen wir jene Aspekte des Musters beiseite lassen, die wir nicht erklären wollen. So bestehen etwa Bäume aus bestimmten Grundmaterialien. Diese Materialien erlegen den Mustern von Bäumen bestimmte Beschränkungen auf. Im Rahmen dieser grundlegenden Beschränkungen versuchen wir dann, die Prozesse zu verstehen, die vom Spektrum der möglichen Muster zu den tatsächlich beobachtbaren Mustern führen.

Ein Großteil der Beschränkungen, die Mustern auferlegt sind, sind dem Zufall geschuldet. Das mag widersprüchlich erscheinen, denn Muster scheinen geradezu das Gegenteil von Zufall zu sein. Wenn wir jedoch viele zufällige Prozesse miteinander kombinieren, erstehen sehr genaue Muster. Wenn wir zum Beispiel die Körpergröße des erstbesten Erwachsenen messen, der gerade vorbeikommt, dann ist diese spezielle Körpergröße äußerst unvorhersehbar - sie ist vollkommen zufällig. Wenn wir jedoch die Körpergrößen der ersten tausend Erwachsenen messen, die gerade vorbeikommen, folgt das gesamte Variabilitätsmuster der tausend Individuen einem sehr genauen und vorhersehbaren Muster.

Beobachtbare Muster schaffen Rätsel, in denen wir Zufall und Prozess voneinander trennen müssen. So verändert sich etwa das Risiko, an Krebs zu erkranken, mit dem Lebensalter. Einiges an dem Muster, das das Krebsrisiko mit dem Alter in Beziehung setzt, entspringt den Beschränkungen, die durch den Einfluss des Zufalls auf den Krebs festgelegt werden. Andere Aspekte des Krebsrisikos rühren von spezifischen biologischen Prozessen her, etwa den verschiedenen Mechanismen, mit denen unsere Körper sich normalerweise vor Krankheit schützen. Um biologische Prozesse verstehen zu können, müssen wir lernen, die Muster in zufällige Komponenten und biologische Komponenten zu zerlegen. Diese Analyse (parsing) setzt ein tiefes Verständnis dessen voraus, wie der Zufall Muster schafft und wie vielfältig deren Entstehungsweisen sind.

Der Zufall schafft Muster durch Informationen, die wir anhand von Messungen gewinnen. Die Informationen, die wir anhand von Messungen erhalten, verändern sich mit Größenordnung. Ein dreißig Zentimeter langes Lineal verschafft mir nützliche Informationen über bestimmte Entfernungen in meinem Büro, aber es kann mir nur wenige Informationen über die relative Entfernung zwischen Venus und Mars bieten. Die Art, wie sich Informationen mit der Größenordnung verändern, formt die beobachtbaren Muster, die vom Zufall geschaffen werden.

Frank, Steven A. (2017)

Universal expressions of population change by the Price equation : natural selection, information, and maximum entropy production

<https://kxp.k10plus.de/DB=9.663/PPNSET?PPN=1041215436>

Frank, Steven A. (2016)

Common probability patterns arise from simple invariances

<https://kxp.k10plus.de/DB=9.663/PPNSET?PPN=1041216467>

Frank, Steven A. (2015)

D'Alembert's direct and inertial forces acting on populations : the price equation and the fundamental theorem of natural selection

<https://kxp.k10plus.de/DB=9.663/PPNSET?PPN=1041216041>

Frank, Steven A. (2014)

Microbial metabolism : optimal control of uptake versus synthesis

<https://kxp.k10plus.de/DB=9.663/PPNSET?PPN=788299956>

Frank, Steven A. (2013)

A new theory of cooperation

<https://kxp.k10plus.de/DB=9.663/PPNSET?PPN=794275001>

Frank, Steven A. (2013)

Natural selection : VII. History and interpretation of kin selection theory

<https://kxp.k10plus.de/DB=9.663/PPNSET?PPN=789394502>

Frank, Steven A. (2013)

Natural selection : VI. Partitioning the information in fitness and characters by path analysis

<https://kxp.k10plus.de/DB=9.663/PPNSET?PPN=789394278>

Frank, Steven A. (2013)

Microbial evolution : regulatory design prevents cancer-like overgrowths

<https://kxp.k10plus.de/DB=9.663/PPNSET?PPN=788299816>

Frank, Steven A. (2013)

Input-output relations in biological systems : measurement, information and the Hill equation

<https://kxp.k10plus.de/DB=9.663/PPNSET?PPN=788298585>

Frank, Steven A. (2013)

Evolution of robustness and cellular stochasticity of gene expression

<https://kxp.k10plus.de/DB=9.663/PPNSET?PPN=786606509>