

EuroMold Frankfurt, 3.-6.12.2003

design+engineering forum, 4.12.2003

## **Bionik – Sis Computergraphik – design+engineering Anwendungen**

Erwin P. Stoschek und Dagmar Schöfeld

[stoschek@tcs.inf.tu-dresden.de](mailto:stoschek@tcs.inf.tu-dresden.de), [schoen@tcs.inf.tu-dresden.de](mailto:schoen@tcs.inf.tu-dresden.de)

Fakultät Informatik, Technische Universität Dresden, 01062 Dresden

Das Algorithmensystem Signa in silico<sup>®</sup> (AsSis) steht als Primärsystem ganz am Anfang einer design+engineering Kette. Das Grundkonzept von AsSis orientiert sich im Sinne der Bionik an der Genexpression. AsSis erzeugt fußend auf dieser Modellvorstellung rein algorithmisch ein breites Formenspektrum von Computergraphik, insbesondere auch von floralen und animalen Mustern. Die so generierbare Formenvielfalt ist schon in dieser Hinsicht mit der Biodiversität vergleichbar. Mit geeigneter Rechentechnik lassen sich zudem AsSis-basiert sehr schnell umfangreichste Mustersequenzen unterschiedlicher Art herstellen (screening, animation).

Potenzielle Anwendungsfelder von AsSis sind:

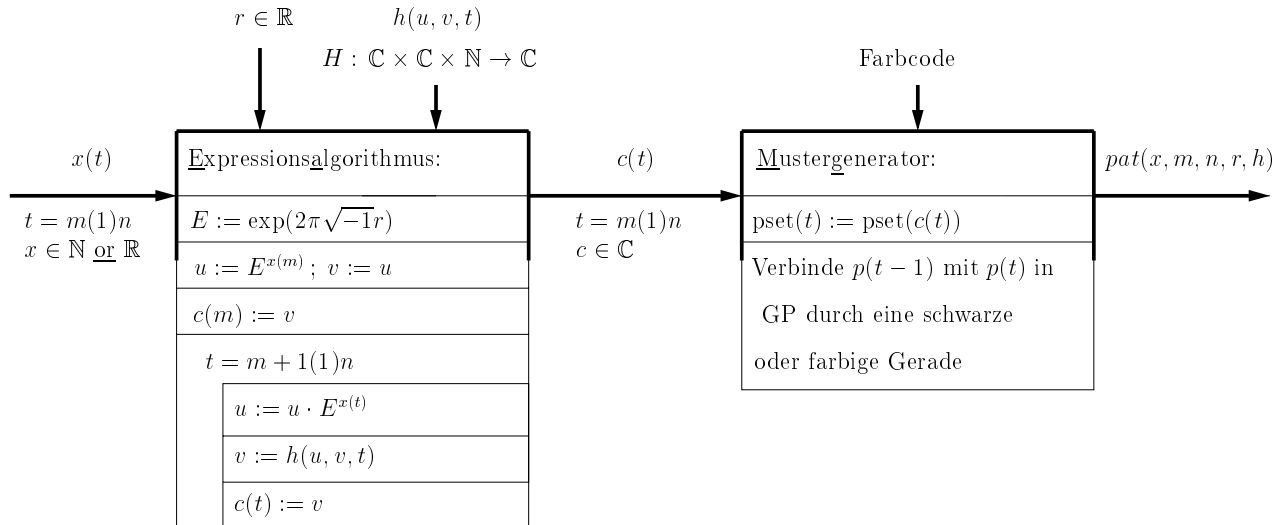
- Computergraphik
  - Computerbasiertes Entwerfen und Gestalten für industrielle, gewerbliche und künstlerische Zwecke (AsSis Output gegebenenfalls als Input für weitere Bearbeitung):
    - Dekors für Tapeten, Textilien und Keramik
    - Ideen- und Patterngenerator für Schmuck, Buch- und Werbegraphik, Logos, Computerspiele
    - Ideen- und Patterngenerator zur Gestaltung und Styling technischer Produkte.
- Gegenüber konventionellem Arbeiten ist es hier möglich, durch die schnelle Erzeugung und Reproduktion umfangreicher und unterschiedlicher Mustersequenzen eine signifikante Verbreiterung des Kreativpotentials und eine merkliche Verkürzung der Designphase zu erreichen.
- Data mining
  - Effiziente näherungsweise Lösung von technisch relevanten Feldgleichungen und Erzeugung entsprechender Feldbilder.

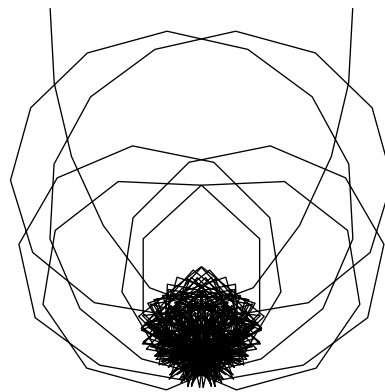
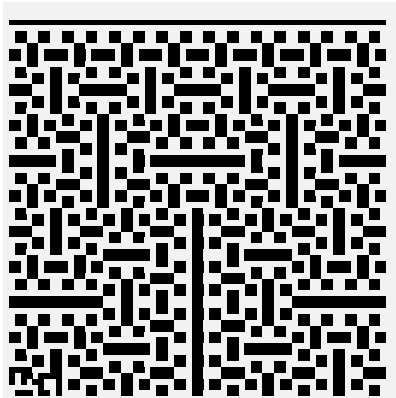
<http://www.DresdenAlgorithmicsChannel.de>

Computer Art Faszination 2003, S. 38-39

Das in Bild 1 dargestellte Algorithmensystem Signa in silico (AsSis) erzeugt aus einer sequentiell eingegebenen Inputfolge, dem „Genom“, in einem determinierten, im allgemeinen mehrstufigen rekursiven „Expressionsprozess“ über der Menge der komplexen Zahlen  $\mathbb{C}$ , der mittels Skalierungsparametern und Kopplungsfunktionen steuerbar ist, zweidimensionale schwarz-weiße oder farbige Muster vom Polygon- und auch vom Pixeltyp.

Ea-Eingangsfolge, Genom	Skalierung	Kopplungsfunktion	Ea-Ausgangsfolge in der Gaußschen Zahlenebene (GP)	Farbgestaltung	Mg-Ausgangsmuster in GP für $t \geq n$
-------------------------	------------	-------------------	--	----------------	--





Collection

Signa in silico<sup>®</sup>

Während eines Expressionslaufes  $t=m(1)n$  bleiben  $r$  und  $h(u,v,t)$  unverändert, das Ausgangsmuster entsteht dabei also ohne einen zusätzlichen beeinflussenden, bearbeitenden oder korrigierenden Eingriff in den Expressionslauf. Ein solcher Eingriff ist natürlich möglich!

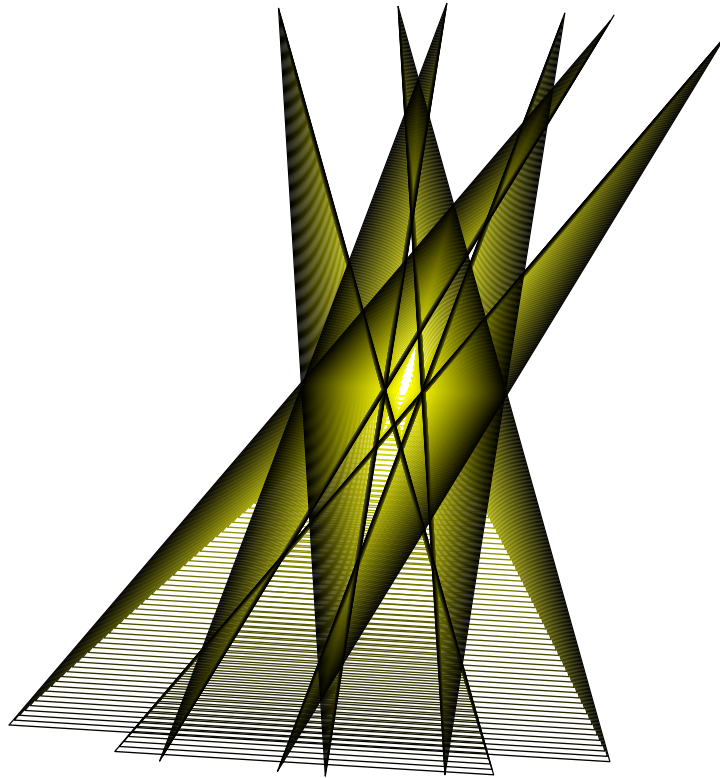
Dieses algorithmische Strukturierungsprinzip orientiert sich an der Genexpression [1,2], also im Sinne der Bionik („Lernen von der Natur als Anregung für eigenständiges technologisches Gestalten“; „Die Vielfalt biologischer Lösungsmöglichkeiten regt die kreative Phantasie an“ [3,4]; vgl. auch [5,6]) an einem Vorbild aus der lebenden Natur: Eine lineare Gensequenz wird im Ribosom in eine Aminosäuresequenz transformiert, die sich zu einem 3D Protein (symbolisierbar als 3D Polygonzug) faltet.

Die mit AsSis aus „beliebig vorhandenen und ständig nachwachsenden Rohstoffen“  $x(t)$ ,  $r$  und  $h(u,v,t)$  generierbare Formenvielfalt ist durchaus vergleichbar mit der biologisch realisierten Formenvielfalt.

Mit geeigneter Rechentechnik können außerdem so sehr schnell umfangreiche Mustersequenzen unterschiedlicher Art generiert (Studienreihen, screening, animation) und beliebig oft identisch (oder gezielt, aber auch stochastisch verändert) reproduziert werden.

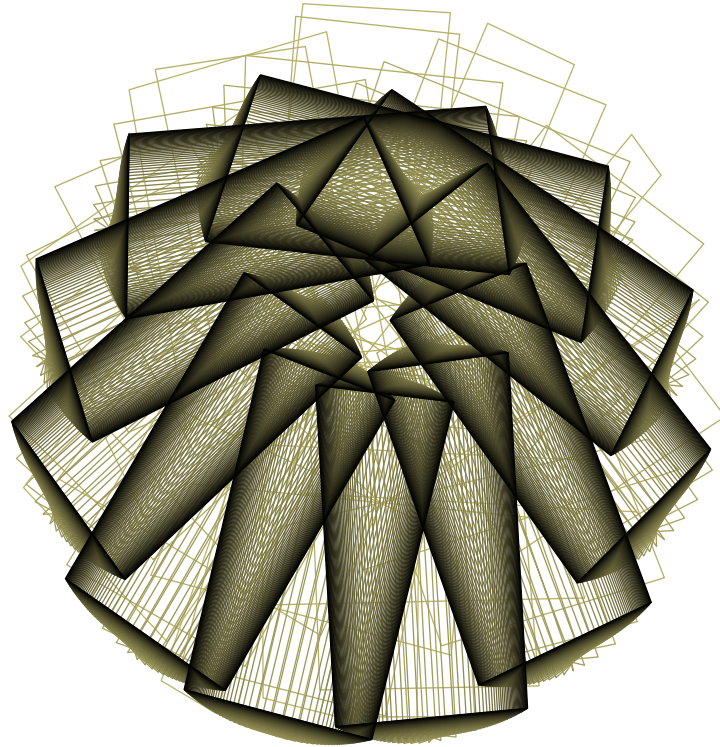
Es entstehen dabei ästhetisch interessante Graphiken von endlichem in sich geschlossenem oder auch linearem repetitivem Charakter; sie können hochgradig symmetrisch sein, aber auch als freie Form scheinbar einem spontanen Impetus entstammen. Die Bandbreite der Texturierung umfasst 2D- und Quasi-3D-Objekte mit äußerst filigranem, aber auch monumentalem und ganz einfachem Charakter, oft im Wechsel bei nur geringfügiger Parameteränderung. Viele symmetrisch bzw. nahezu symmetrisch aufgebaute Muster gemahnen dabei an klassische Symbole und Ornamente aller Kulturkreise [7] sowie an Kunst- und Naturformen [8], stellen jedoch auch gültige eigenständige Hervorbringungen dar.

Unser Arbeitsbuch [9] und die Internetpräsentation [10] beschreiben das Algorithmensystem ausführlich und demonstrieren seine Leistungsfähigkeit anhand von ca. 1200 Graphiken. Eine Auswahl hiervon ist in den Bildern 2 und 3 zusammengestellt.



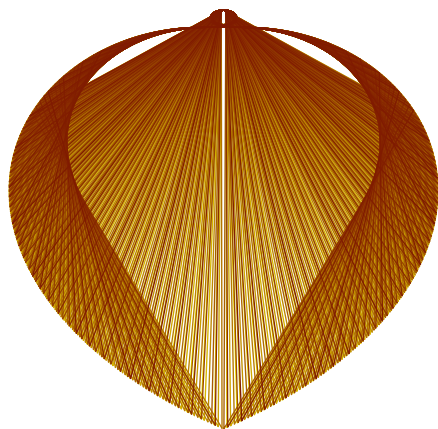
Aboriginal ornament on a Didgeridoo

Signa in silico 2001



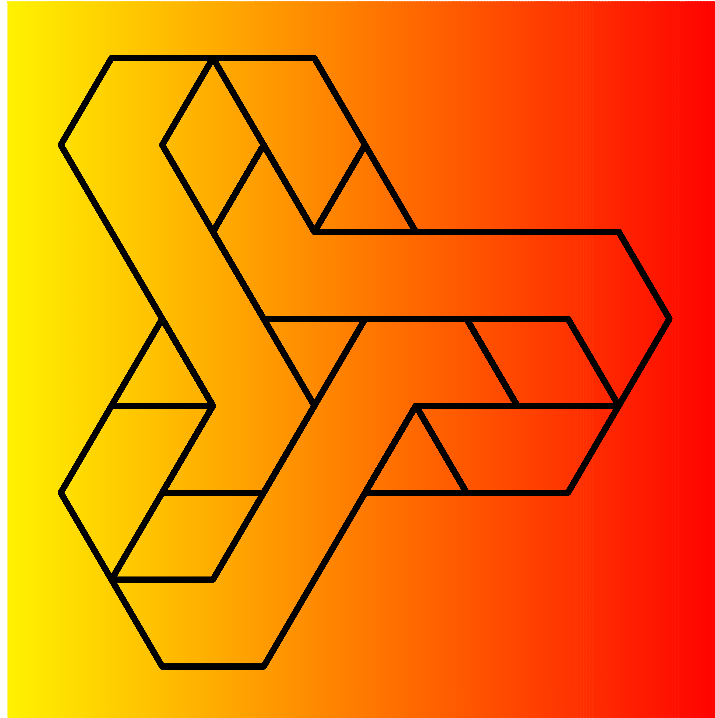
Armadillo variations I  
Algorithmic metamorphoses

Signa in silico 2001



Per aspera ad astra

Signa in silico 2003



Impossible object

Signa in silico 2003



Alien pilgrim

Signa in silico 2002

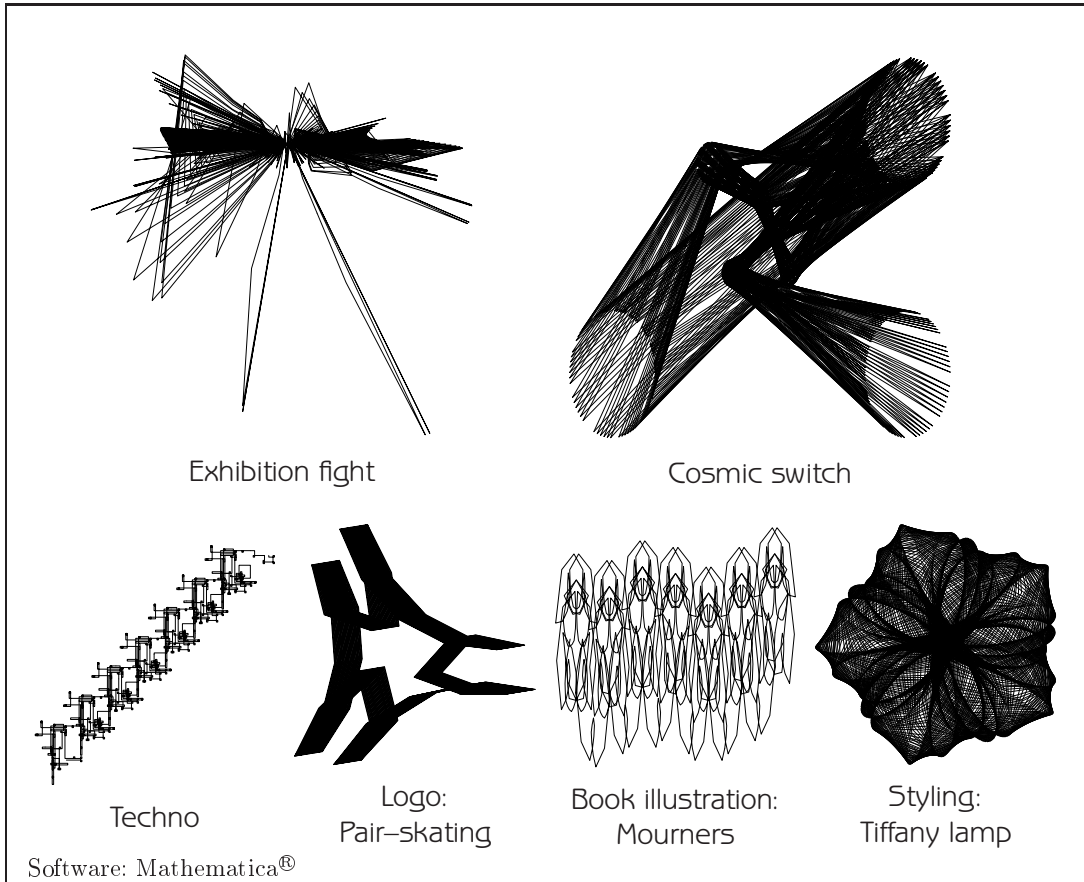
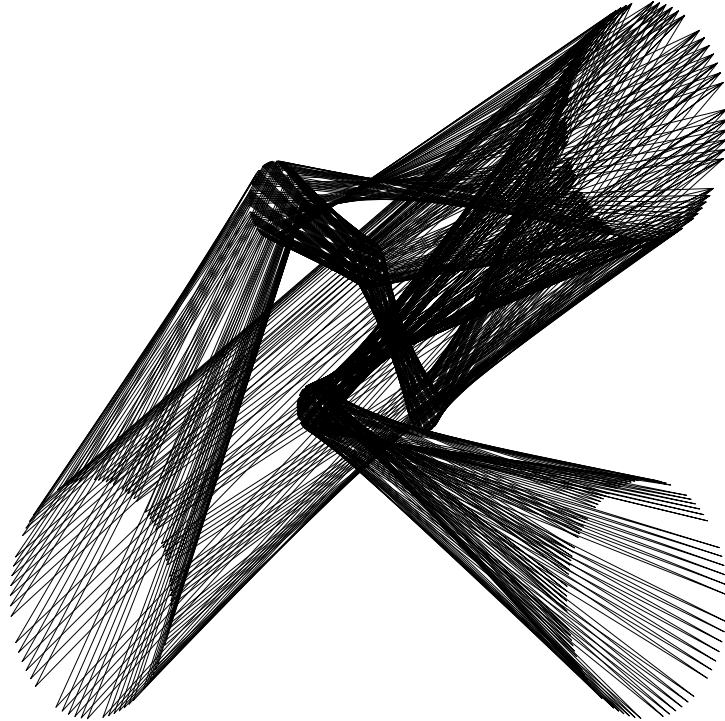
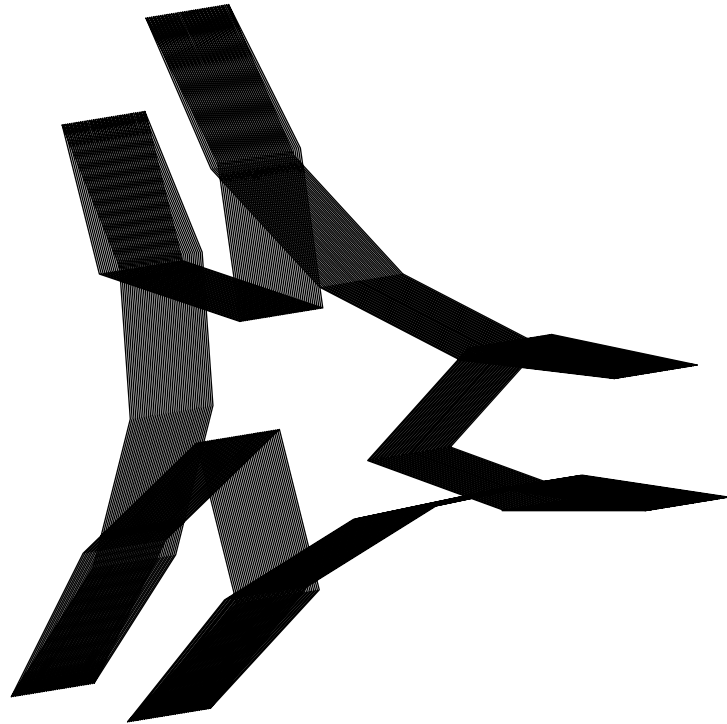


Bild 2: AsSis, Schwarz-Weiß-Graphiken



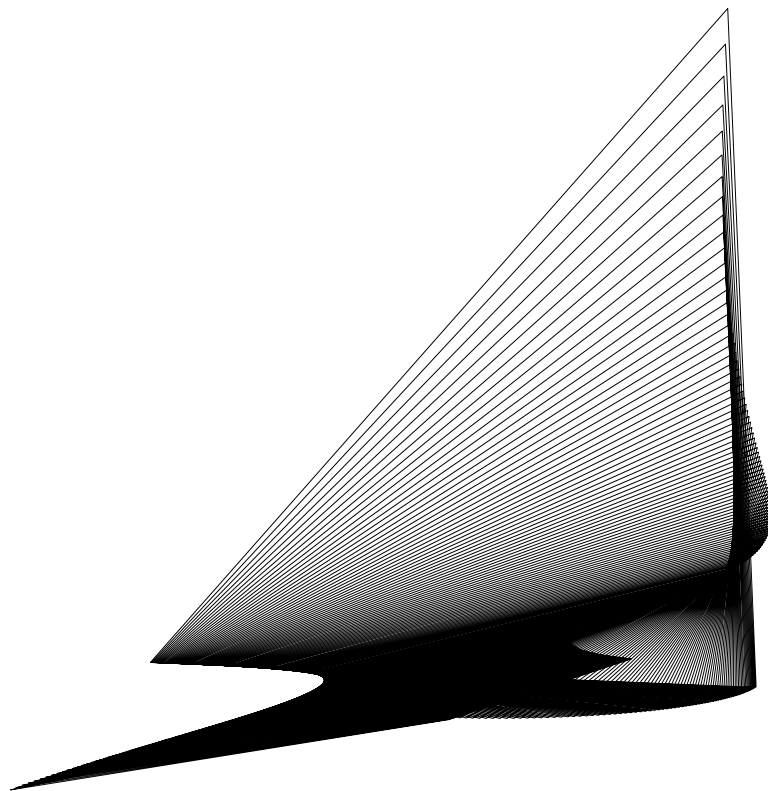
Cosmic switch

Signa in silico 2000



Logo  
Pair-skating

Signa in silico 2000



Northwards

Signa in silico 2000

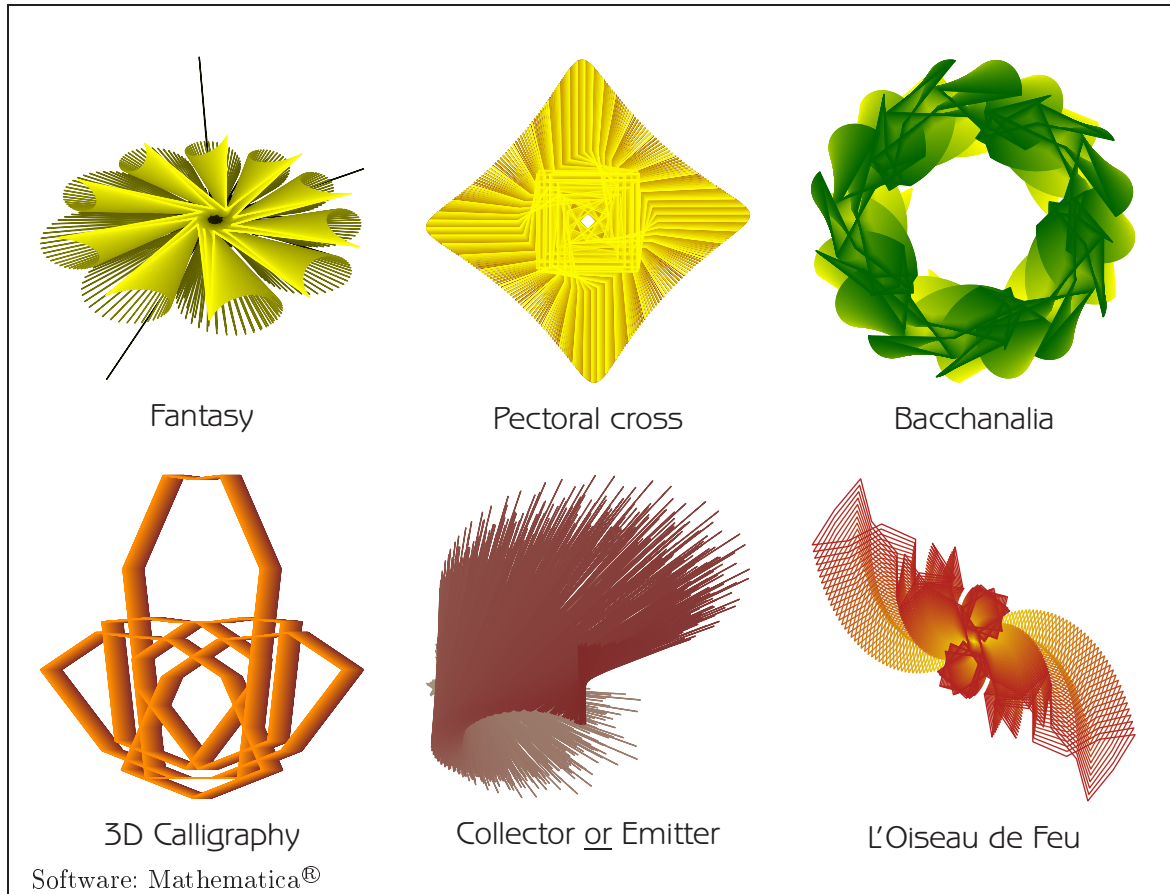


Bild 3: AsSis, Farbgraphiken

Potenzielle Applikationsfelder von AsSis sind:

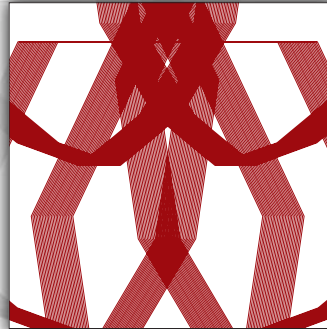
- Computergraphik
- Computerbasiertes Entwerfen und Gestalten für industrielle, gewerbliche und künstlerische Zwecke:
  - Dekors für Tapeten, Textilien und Keramik
  - Ideen- und Patterngenerator für Schmuck, Buch- und Werbegraphik, Logos, Computerspiele
  - Ideen- und Patterngenerator zur Gestaltung und Styling technischer Produkte.

Gegenüber konventionellem Arbeiten ist es hier möglich, durch die schnelle Erzeugung und Reproduktion umfangreicher und unterschiedlicher weiterverarbeitbarer Mustersequenzen eine signifikante Verbreiterung des Kreativpotentials und eine merkliche Verkürzung der Designphase zu erreichen.

Erwin P. Stoschek  
Dagmar Schönfeld

**COMPUTERGRAPHIK IM SPANNUNGSFELD**  
zwischen  
**ALGORITHMUS UND PHANTASIE**

*Signa in silico*

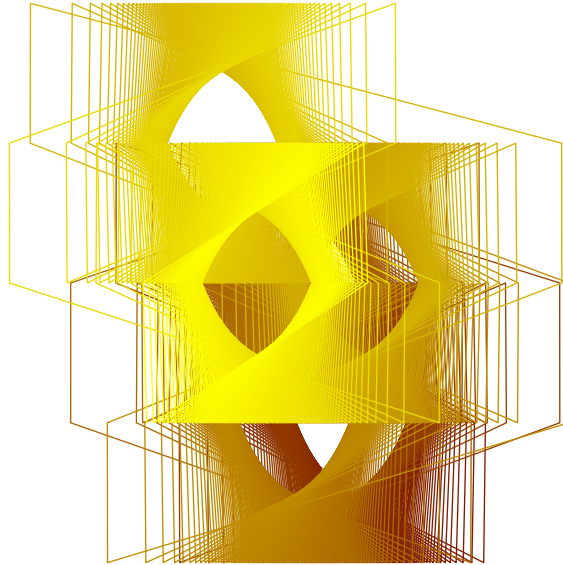


Mit AsSis sind aber auch

- Naturwissenschaftlich und technisch interessante Strukturen wie
  - Testbilder für optische und andere Abbildungssysteme
  - Anregungen für nanotechnische Konstruktionen, Molekül- und Kristalldesign
  - Formen- und Bewegungsstudien
  - Data mining tools [11,12] zur Analyse von
    - algorithmisch generierten Zahlenfolgen
    - biologischen Signalen (EKG, EEG, geeignet kodierte Gensequenzen, Signal und Rauschen [12,13])
    - physikalischem Rauschen [14]
    - algorithmischem Rauschen [15]

erzeugbar.

Strukturbildungsalgorithmen schlagen eine Brücke zwischen Ästhetik, Naturwissenschaft und Technik. Obwohl AsSis in eher globaler Form am biologischen Vorbild Genexpression Anleihen aufnimmt, zeigte die gezielte experimentelle Arbeit mit diesem System, dass innerhalb der großen erzeugbaren Formenvielfalt viele florale und animale Muster entstehen, die sehr große Ähnlichkeit mit 2D-Abbildern von Naturformen aufweisen (Bild 4).



$$\begin{aligned}
 \langle \pi \rangle &= 3 \quad 1 \quad 4 \quad 1 \quad 5 \quad 9 \quad 2 \quad 6 \quad 5 \quad 3 \quad 5 \quad 8 \quad 9 \quad 7 \quad \dots \\
 \langle D1\pi \rangle &= \underbrace{2} \quad \underbrace{3} \quad \underbrace{3} \quad \underbrace{4} \quad \underbrace{4} \quad \underbrace{7} \quad \underbrace{4} \quad \underbrace{1} \quad \underbrace{2} \quad \underbrace{2} \quad \underbrace{3} \quad \underbrace{1} \quad \underbrace{2} \quad \dots \\
 \langle D2\pi \rangle &= \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 3 \quad 3 \quad 3 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 2 \quad 1 \quad \dots
 \end{aligned}$$

Frequency  $p_k$  of digits  $k$  in  $\langle \pi \rangle, \langle D1\pi \rangle, \langle D2\pi \rangle$ :

$k$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$p_k(\pi) \rightarrow$	0,1									
$p_k(D1\pi) \approx$	0,10	0,18	0,16	0,14	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02
$p_k(D2\pi) \approx$	0,14	0,246	0,191	0,147	0,109	0,076	0,048	0,028	0,011	0,004

Places of interest near Benford's Law

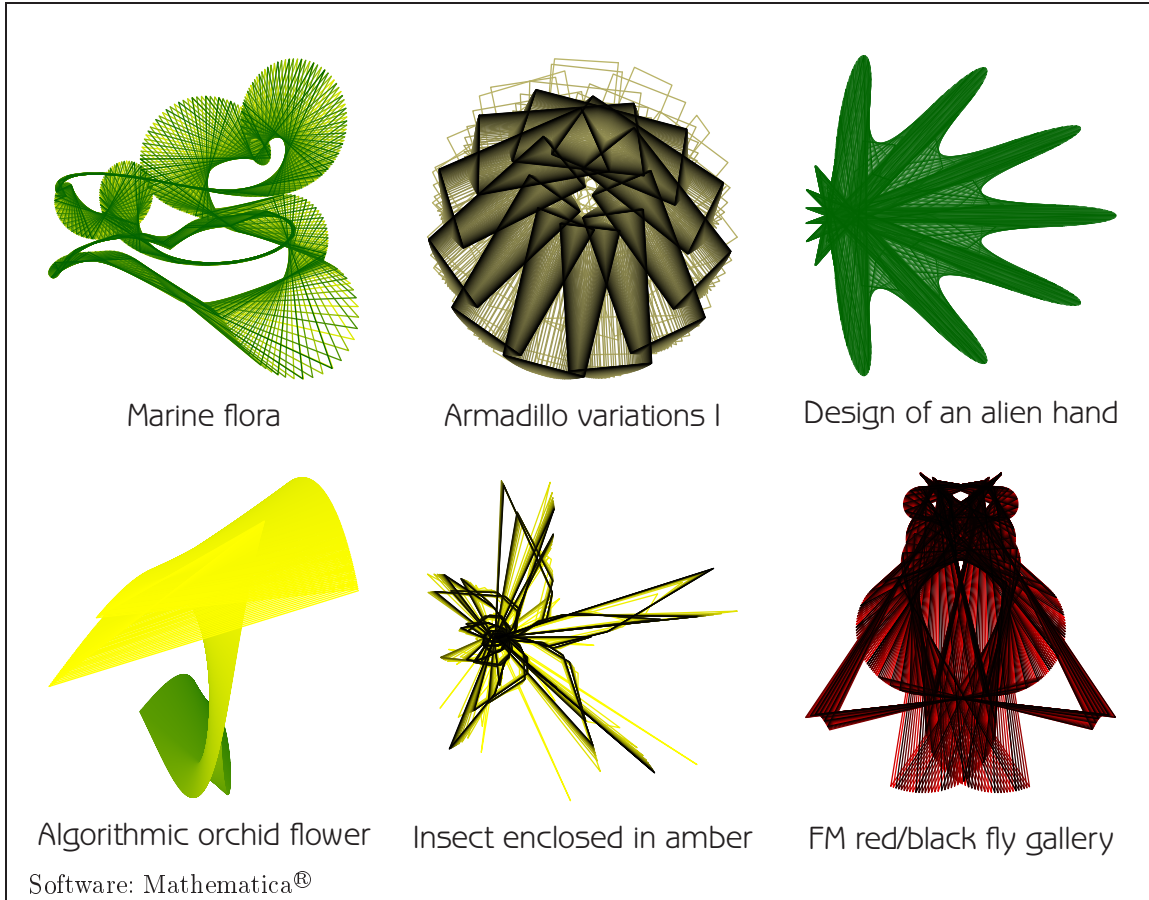
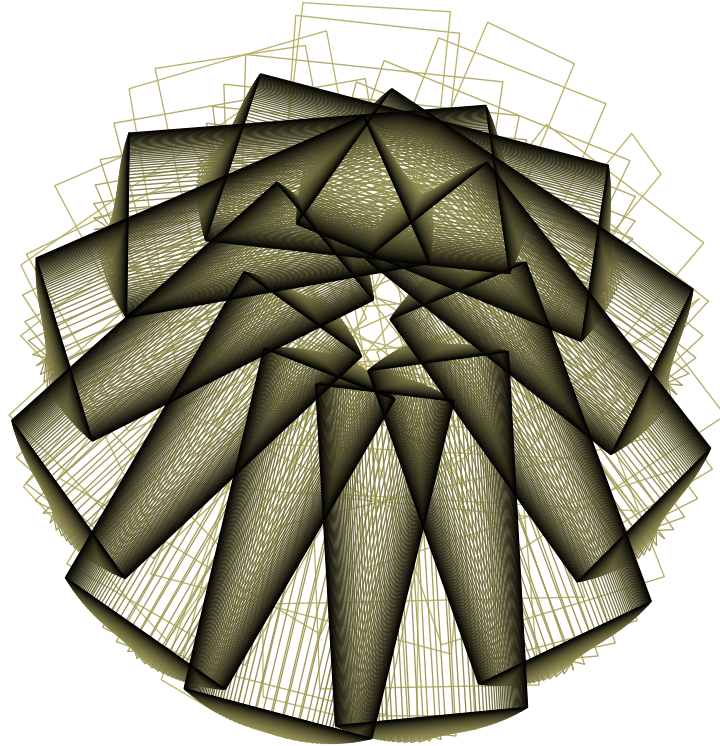


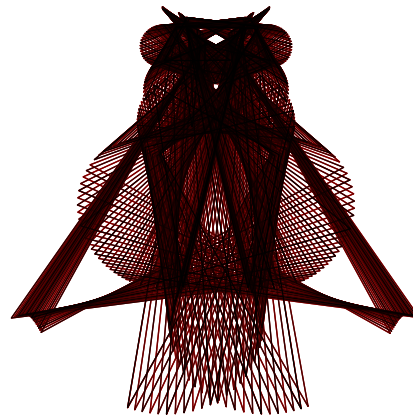
Bild 4: AsSis-generated floral and animal patterns



# Armadillo variations I

## Algorithmic metamorphoses

Signa in silico 2001



FM red and black fly gallery

Signa in silico 2002

Diese „Biodiversität“ wirft eine Reihe interessanter Fragen auf:

- Ist AsSis umkehrbar, d.h. lässt sich ein in Bild 5 skizziertes Umkehrsystem revAsSis konstruieren?

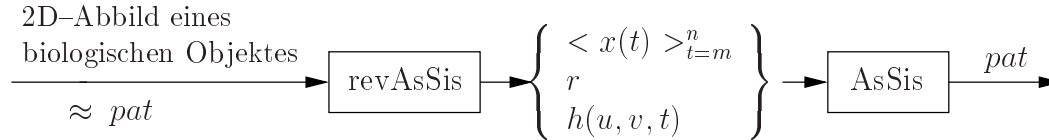


Bild 5: Umkehrungsproblem

Die Lösung dieses Umkehrungsproblems ist nicht nur von originärem wissenschaftlichem Interesse sowohl für die Algorithmenkonstruktion als auch für die Bioinformatik [2], sie wäre auch von großer praktischer Bedeutung für die vorgenannten Applikationsfelder: hiermit ließen sich höhere Treffsicherheit und maßgeschneiderte Lösungen im Designbereich realisieren.

- Gibt es einen quantifizierbaren Zusammenhang zwischen relevanten Parametern eines biologischen Objektes (Genom, physikalische und chemische Daten, Umwelteinflüsse, ...) und den Kenngrößen ( $x, r, h, \dots$ ) seines „AsSis-Partners“?

Wenn ja, ist diese Beziehung interpolier- und extrapolierbar (so dass z.B. auf dieser Grundlage exobiologische Fragestellungen [20] diskutiert werden könnten)?

- Ist die „AsSis-Biodiversität“ zufällig oder gibt es dafür eine wie auch immer geartete Erklärungsbasis (emanatio, creatio ex nihilo, Noosphäre, morphogenetisches Feld)?

In Bild 6 sind mittels AsSis erzeugte Graphiken zusammengestellt, die als elektrische, magnetische, hydrodynamische bzw. Gravitationsfelddbilder interpretiert werden können.

Diese „Felddiversität“ lässt AsSis aus der Sicht der Physik (und damit auch der Chemie) als potenzieller Felddbildgenerator, aber auch als Generator für Konzentrations-, Tensions- bzw. Temperaturmuster [24,25,26] erscheinen. Voraussetzung für die praktische Nutzung dieser Möglichkeit zu einer effizienten näherungsweise Felddberechnung und damit Felddvisualisierung ist ein Übersetzungssystem für lineare und nichtlineare Felddgleichungen (partielle Differential-, Differenzen-, Integral- bzw. Summengleichungen) in einen zugehörigen AsSis-Expressionalalgorithmus gemäß Bild 1 – ein in beide Richtungen noch offenes Problem der Algorithmenkonstruktion, dessen Lösung dem AsSis-Konzept weitere design+engineering Anwendungen erschließen könnte.

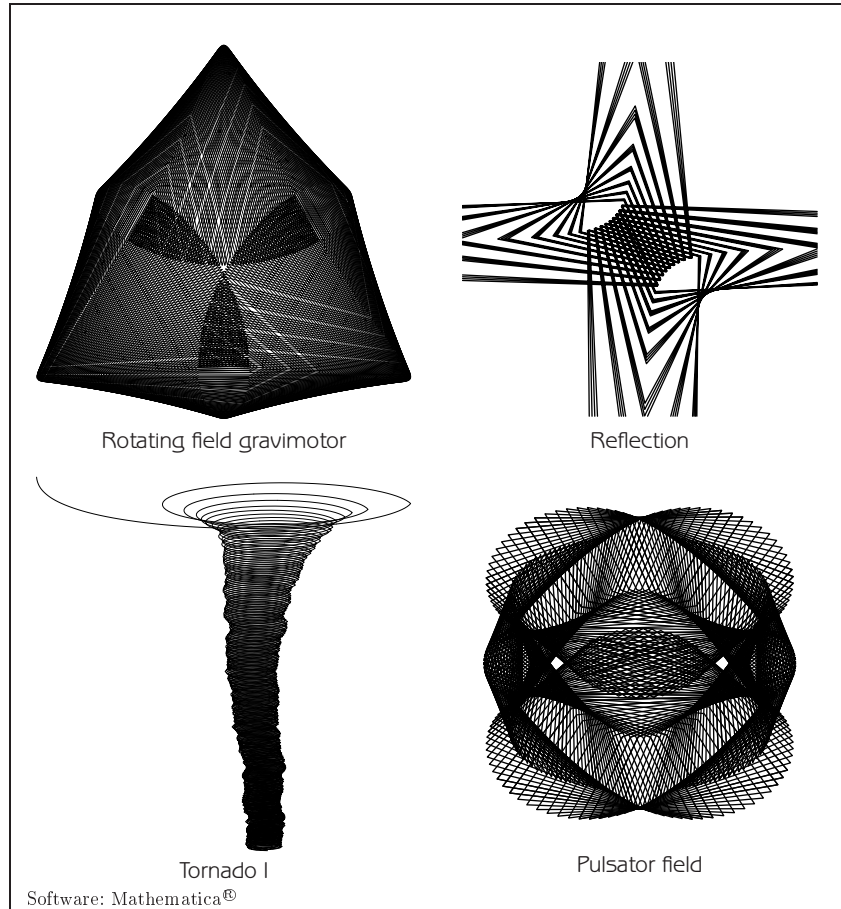
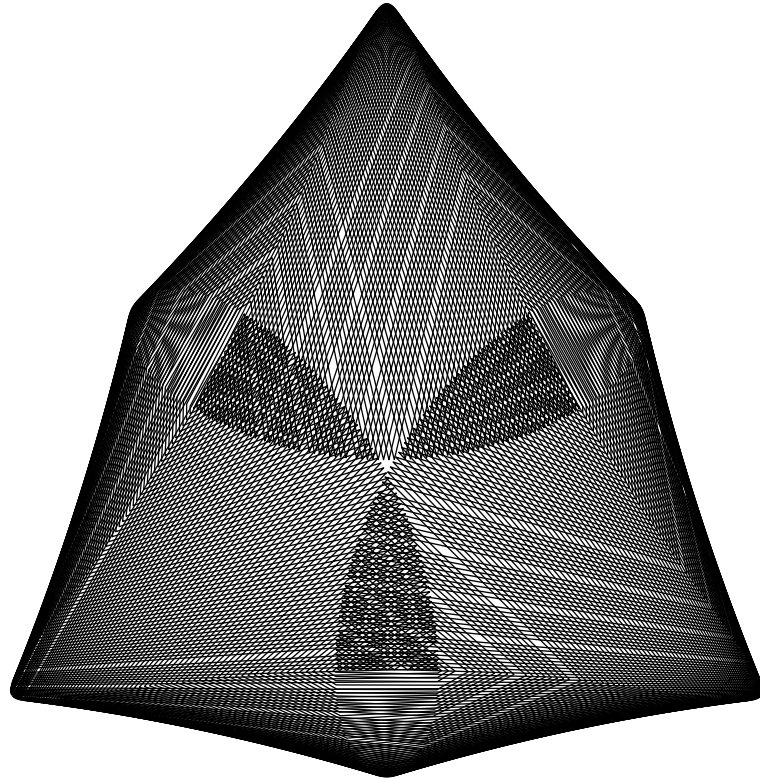
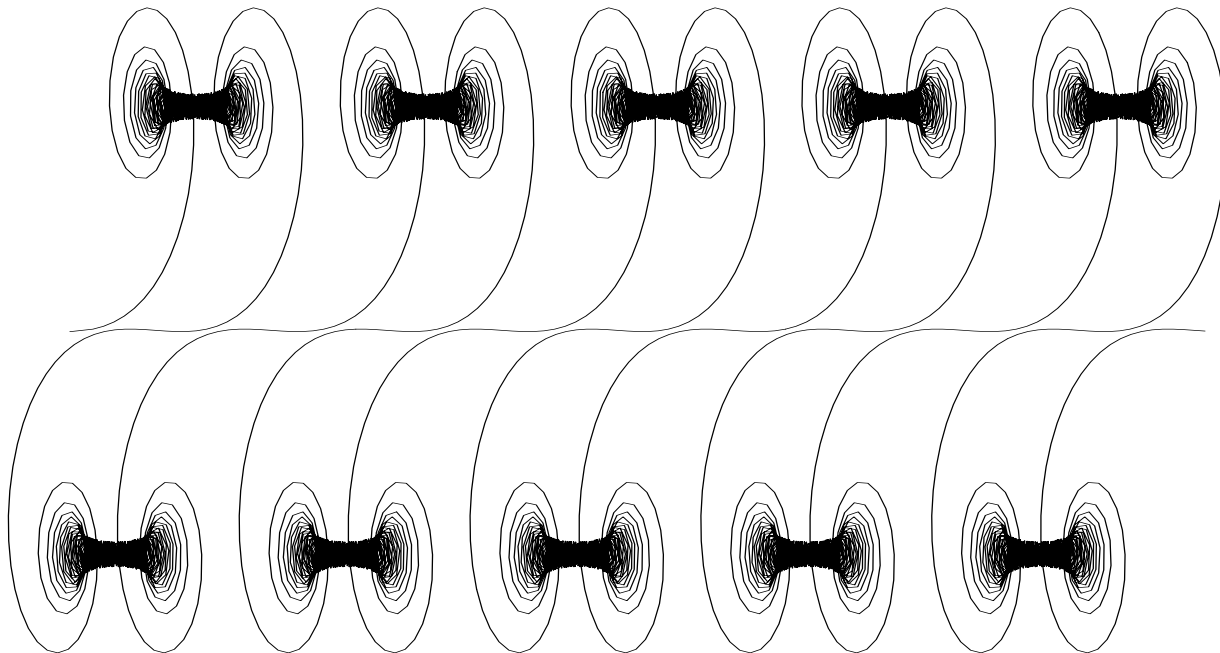


Bild 6: AsSis-generierte Feldbilder



Rotating field gravimotor

Signa in silico 2000



## Coupled rotational fields

Signa in silico 2003

## Literatur

- [1] S.B. Carrol, J.K. Grenier, S.D. Weatherbee. From DNA to Diversity. Molecular Genetics and the Evolution of Animal Design. Williston 2000
- [2] Ch.W. Sensen (Ed.). Essentials of Genomics and Bioinformatics. Weinheim 2002
- [3] W. Nachtigall, K.B. Blüchel. Das große Buch der Bionik. Neue Technologien nach dem Vorbild der Natur. Stuttgart, München 2000
- [4] W. Nachtigall. Bionik. Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler. Berlin, Heidelberg, ..., Tokyo 2002, Kap. 1
- [5] J. Knight. Physics meets biology: Bridging the culture gap. Nature 419(2002)6904, p. 244-246
- [6] H. Kitano. Computational systems biology. Nature 419(2002)6904, p. 206-210
- [7] O. Jones. Grammatik der Ornamente. Köln 1997
- [8] E. Haeckel. Kunstformen der Natur. München, New York 1998
- [9] E.P. Stoschek, D. Schönfeld. Computergraphik im Spannungsfeld zwischen Algorithmus und Phantasie. Signa in silico. Thun und Frankfurt am Main 2000
- [10] <http://www.DresdenAlgorithmicsChannel.de>
- [11] D. Hand, H. Mannila, P. Smyth. Data Mining. Cambridge, London 2001

- [12] M. Costa, A.L. Goldberger, C.-K. Peng. Multiscale Entropy Analysis of Complex Physiologic Time Series. *Physical Review Letters* 89(2002)6, 068102
- [13] T. Mori, S. Kai. Noise-Induced Entrainment and Stochastic Resonance in Human Brain Waves. *Physical Review Letters* 88(2002), 218101
- [14] R.L. Weaver, O.I. Lobkis. Ultrasonics without a Source: Thermal Fluctuations Correlations at Mhz Frequencies. *Physical Review Letters* 87(2001), 134301
- [15] <http://www.DresdenAlgorithmicsChannel.de>  
Module 1,50,51,52
- [16] *Arch+* 34(2002)159/160
- [17] E.P. Stoschek. *Abenteuer Algorithmus. Teil 2. Dresden 1997*
- [18] S. Bohn, B. Andreotti, S. Douady, J. Munzinger, Y. Conder. Constitutive property of the local organization of leaf venation networks. *Physical Review E* 65(2002)6, 061914
- [19] S. Arbesman, L. Enthoven, A. Montairo. Ancient Wings: animating the evolution of butterfly wing patterns. *Biosystems* 71(2003)3, p. 289-295
- [20] <http://exobiology/nasa.gov/ssx/>
- [21] P. Teilhard de Chardin. *Die Zukunft des Menschen. Olten, Freiburg i. Br. 1963*
- [22] <http://www.noosphere.princeton.edu>

- [23] R. Sheldrake. A New Science of Life. The Hypothesis of Morphic Resonance. Rochester 1995
- [24] R. Rannacher, E. Stein. Finite Elemente: die Ideen. Spektrum der Wissenschaft 20(1997)3, S. 90-97
- [25] [http://www.hmi.de/pr/aktuell/schroedinger\\_preis.html](http://www.hmi.de/pr/aktuell/schroedinger_preis.html)
- [26] M. Falcke, Y. Li, J.D. Lechleitner, P. Camacho. Modeling the Dependence of the Period of Intracellular  $\text{Ca}^{2+}$  Waves on SERCA. Biophysical Journal 85(2003)3, p. 1474-1481