

Ausarbeitung von:
**Energy as a driver of diversity in open-ended
evolution**

4. Oktober 2012

Georg-August-Universität Göttingen
Institut für Informatik: Proseminar: Artificial Life
Leitung: Prof. Dr. Winfried Kurth,
Sommersemester 2012

Von : Sebastian Schrage, Mat.Nr. : 21026988
Burgstraße 38, 37073 Göttingen
Studiengang: Angewandte Informatik
E-Mail: sebastian.schrage@stud.uni-goettingen.de
Eingereicht am: 30. September 2012

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	3
I	Einleitung	3
1.1	Motivation	3
1.2	Überblick	3
1.3	Fragestellung	3
II	Aufbau	4
2	Das Metamodell	4
2.1	Das Domainmodell	4
2.2	Das Umgebungsmodell	5
2.3	Das Energiemodell	5
3	Die Kreaturen	7
3.1	Aufbau der Kreaturen	7
3.2	Verhaltensweisen der Kreaturen	7
3.2.1	Verhaltensweise <i>Sitzen</i>	7
3.2.2	Verhaltensweise <i>Gehen</i>	7
3.2.3	Verhaltensweise <i>Essen</i>	8
3.2.4	Verhaltensweise <i>Assimilieren</i>	8
3.2.5	Verhaltensweise <i>Reproduktion</i>	8
3.2.6	Verhaltensweise <i>Morphogenese</i>	8
3.3	Mutationen	9
3.3.1	<i>Presegment</i> Mutationen	9
3.3.2	Sensorparameter	9
3.3.3	Kreaturkörperform	9
III	Forschung	10
4	Forschung	10
4.1	Versuche	10
4.2	Ergebnisse	10
4.3	Interpretation der Ergebnisse	11
4.4	Zukünftige Ausrichtung	11
4.5	Eigene Meinung	11

1 Vorwort

Zitierungen sind ohne Zustimmung des Autors von mir auf Deutsch übersetzt worden und es kann nicht für inhaltliche Korrektheit garantiert werden. Deshalb ist auch das jeweilige Originalzitat in Klammern dahinter gestellt. Bei Unstimmigkeiten ist das Originalzitat in jedem Fall vorzuziehen.

Teil I

Einleitung

1.1 Motivation

Die Natur bietet immer noch viele Vorgänge die für uns schwer nachvollziehbar sind, einige wie z.B. die Evolution des Lebens, weil sie schon seit Millionen von Jahren andauert. Aufgrund ihrer Dauer können wir nur kleine Ausschnitte ihres Wirkens beobachten. Aus diesen Ausschnitten und mithilfe von alten Funden können wir versuchen diese Prozesse zu rekonstruieren und Vorhersagen zu treffen. Oder aber wir suchen eine Evolutionsumgebung in der sie deutlich schneller vorstattengehen kann. Hier bieten sich virtuelle Welten an, in denen wir die Bedingungen und die Geschwindigkeit festlegen können. Bei diesen Modellen muss aber immer wieder ein Spagat zwischen Realitätsnähe und Berechenbarkeit geschlagen werden.

1.2 Überblick

In dieser Hausarbeit wird das Modell von Tim Hoverd und Susan Stepney: Energy as a driver of diversity in open-ended evolution [1] ausgearbeitet. Die Grundlage für ihr Modell bildet die Arbeit von Greg Turk Sticky feet: Evolution in a multi-creatur physical simulation [2]. Turks Modell wird hier um wesentliche Merkmale der natürlichen Evolution erweitert, um ein Modell zu schaffen, dass näher an die Realität heranreicht.

Das grundlegende Modell ist das Sticky Feet Modell von Greg Turk. Dieses Modell wurde um einige Komponenten erweitert, die wichtigste Erweiterung ist das Einführen des Energiemodells. Das Sticky Feet Modell ist eine Endlos – Evolution – Simulation, bei der Kreaturen in einem primitiven Urtyp starten und sich durch Jagd, Fortpflanzung und Mutation weiterentwickeln und die fittesten Kreaturen überleben, während die Schwächeren aussterben. Eine Sticky Feet Kreatur besteht aus einem geschlossenem Graphen von Massenpunkten oder abstrakter betrachtet aus Füßen und Segmenten, sowie einem Mund und einem Herzen. Die Segmente können wie Federn gestreckt werden (genau Berechnung s.[2,Seite 2]), während die Füße eine hohe Reibung haben können, also sticky sind oder eine geringe Reibung und durch die Segmentbewegungen verschoben werden oder einen Bezugspunkt für das Verschieben des anderen Punktes bieten. Die Reibung ändert sich mit dem Bewegungszyklus. Durch Evolution ergeben sich dann verschiedene Fortbewegungsmethoden. Die Vermehrung findet durch das Konsumieren anderer Kreaturen statt. Wann immer eine Kreatur mit dem Mund auf dem Herzen einer anderen Kreatur liegt wird Letztere von der Ersten gefressen und es entsteht ein Nachkomme der fressenden Kreatur. Dieser Nachkomme kann mutiert sein und sich somit von seiner Mutter unterscheiden. ¹ Ob dies ein Vorteil oder Nachteil ist entscheidet sich in der Echtzeitsimulation. Diese Art der Fortpflanzung garantiert, dass die Größe der Population immer konstant bleibt, was annähernd konstante Rechenleistung benötigt.

1.3 Fragestellung

Wie schon erwähnt ist das Sticky Feet Model die Grundlage für das Paper das hier beschrieben werden soll, allerdings wurden einige Änderungen vorgenommen um das Modell realitätsnäherer zu gestalten, vor allem aber soll untersucht werden was Energiegewinn und Bedarf für Einflüsse auf die Diversität der Population haben. Es wird vermutet, dass der Bedarf an Energie einen positiven Einfluss auf die Diversität hat.

¹Sticky Feet Kreaturen sind nicht geschlechtlich. Mutter wird nur verwendet da es im Deutschen keine Einzahl von Eltern gibt außer Elternteil und dieses ebenfalls bedeuten würde das zwei Wesen an der Zeugung beteiligt sind

Teil II

Aufbau

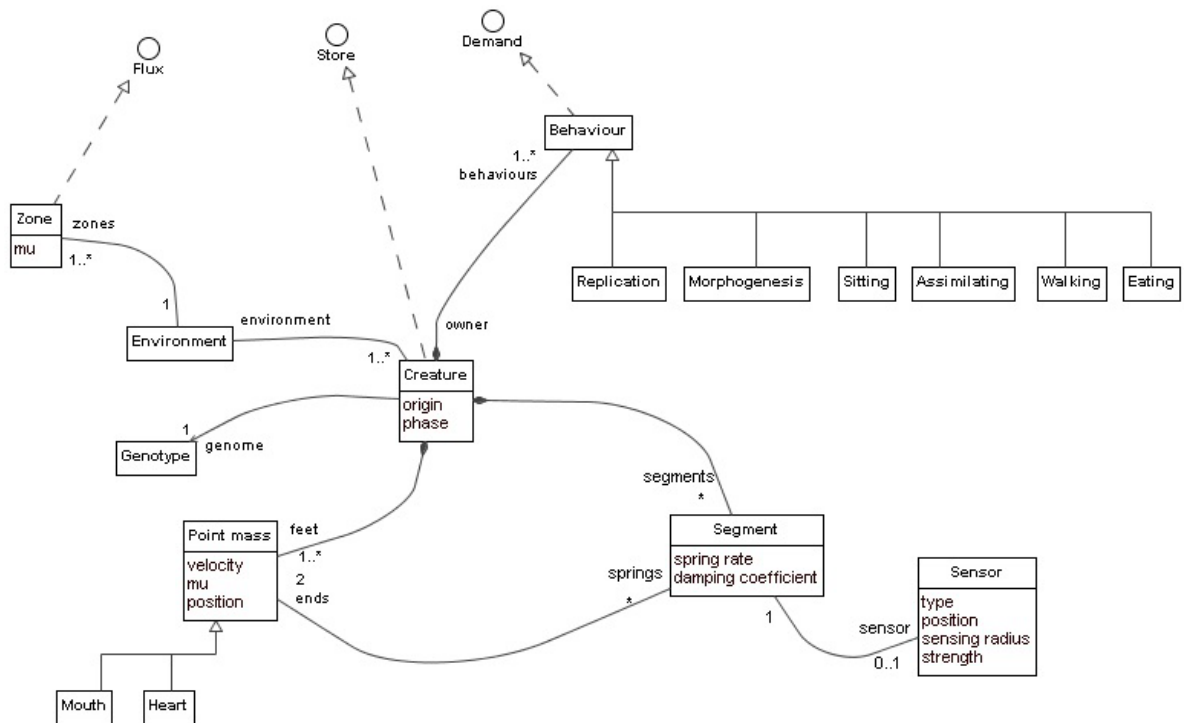


Abbildung 1: Übersicht der Funktionalitäten des Modells. Quelle [1]

2 Das Metamodell

Das Metamodell (siehe Abbildung) sieht die Schnittstellen zwischen den einzelnen Modellen und deren Gesamtfunktionalität vor, also was die Überarbeitung der Sticky Feet Creatures kann. Das Metamodell lässt sich grob in drei Untermodelle aufteilen, das Domainmodell, das Energiemodell und die Kreaturen. Diese Drei können noch weitere Modelle beinhalten, doch legen sie die Interaktionen fest. (Siehe Abbildung)

2.1 Das Domainmodell

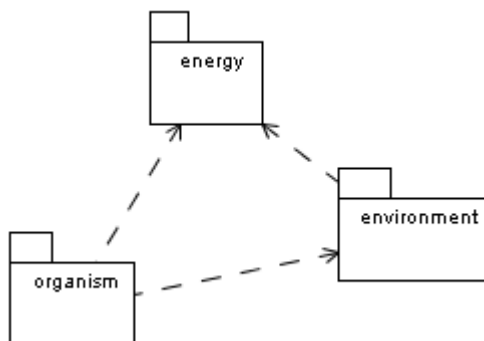


Abbildung 2: Domainmodell. Quelle:[1]

Das Domainmodell beschreibt das zusammen wirken von Energie, Umgebung und Kreaturen. Kreaturen können sich in einer Umgebung bewegen und auf die Energie zugreifen die durch den Flux bereitgestellt wird. Jeder Umgebung ist ein bestimmter Flux zugewiesen.

2.2 Das Umgebungsmodell

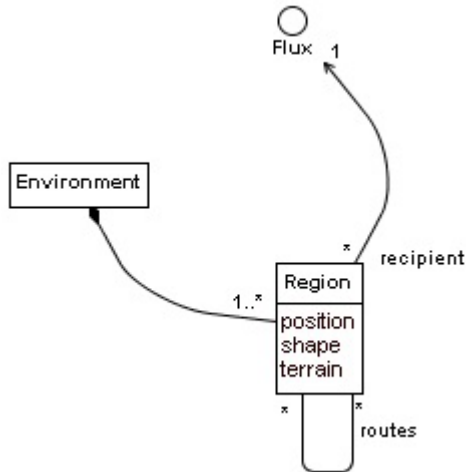


Abbildung 3: Umgebungsmodell. Quelle: [1]

Das Umgebungsmodell ist ein Teil des Domainmodells. Die Umgebung ist eine größenbeschränkte aber unendliche zweidimensionale Fläche (Kreaturen die den Rand erreichen, erscheinen auf der anderen Seite der Umgebung wieder.). Eine Simulation kann aus mehreren Umgebungen bestehen, die untereinander verbunden sind. Für ein bestimmtes Maß an Energie können Kreaturen die Umgebung wechseln. Die Stärke des Energieflusses ist an die Umgebung gebunden, also können Kreaturen durch den Wechsel der Umgebung in höher oder niedriger energetischen Umgebungen gelangen für die sie eventuell, relativ zu den anderen Kreaturen, besser angepasst sind.

2.3 Das Energiemodell

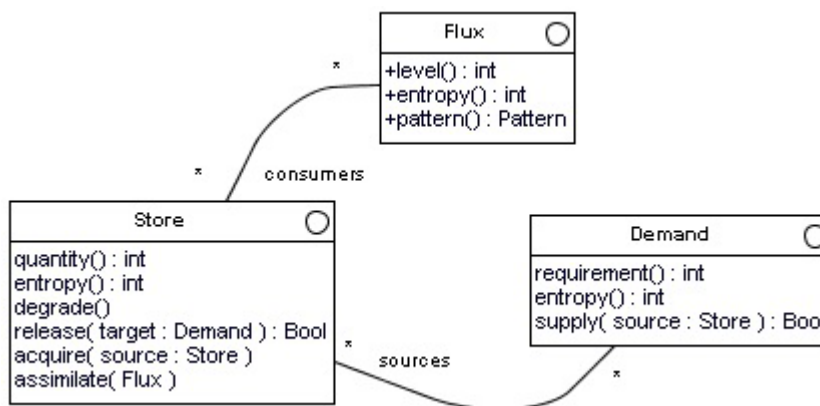


Abbildung 4: Implementierung des Energiemodell Quelle: [1]

Der erste Schritt dafür ist die Erweiterung der Umgebung um ein Energiemodell bzw. einen Energiefluss. Im Sticky Feet Modell ist die Umgebung eine einfache, zweidimensionale Fläche, in unserem Fall wird die Umgebung um den Flux erweitert, den man in der Realität am ehesten mit Sonnenlicht

vergleichen kann. Der Flux verteilt gleichmäßig Energie auf die Umgebung. Die Menge wird zu Beginn der Simulation festgelegt und kann sich nur periodisch ändern, die Entsprechung zum Tag- und Nachtwechsel.

Als Zweites müssen die Kreaturen einen Energieverbrauch haben und die Möglichkeit Energie zu gewinnen. Der Verbrauch berechnet sich aus der Größe der Kreatur und dem aktuellen Verhalten (s. 3.2 Verhaltensweisen der Kreaturen). Hier bietet das Metamodell drei Möglichkeiten. Als Erstes durch das Fressen anderer Kreaturen, wie schon im Sticky Feet Modell, zweitens durch das assimilieren des Energiefluxes und eine dritte Möglichkeit wäre von Abfallprodukten anderer Kreaturen Energie zu gewinnen.[1, Seite 3] Wenn die Kreaturen Energie sammeln und verbrauchen können, müssen sie auch eine Möglichkeit haben diese zu speichern. Jedes Körperteil einer Kreatur ist dazu in der Lage. Wenn nun ein Verhalten ausgeübt wird, wird von dem Körperteil Energie genommen, das mit dem Verhalten verbunden ist. [1, Seite 2]

3 Die Kreaturen

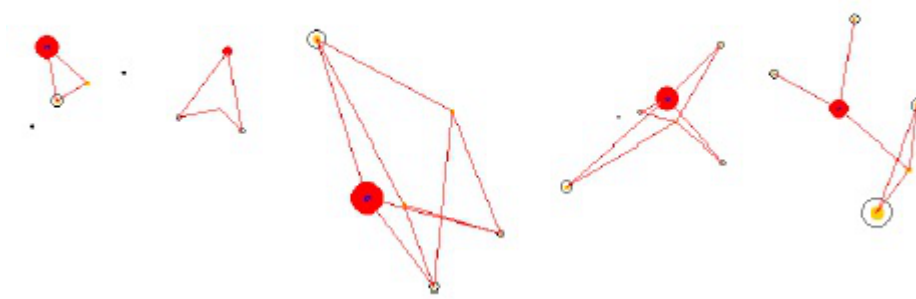


Abbildung 5: Auswahl verschiedener Kreaturen Quelle: [1]

Die Kreaturen sind das Herzstück der Simulation. Um die These zu überprüfen werden sie untersucht.

3.1 Aufbau der Kreaturen

Die Kreatur besteht mathematisch gesehen aus einem geschlossenen Graphen der aus Massenpunkten besteht. Interpretiert wird dieser Graph als Kreatur die aus Füßen (Massenpunkte) und Segmenten (Graphenkanten) besteht. Die Segmente unterliegen den physikalischen Federgesetzen und können oszillieren. Die Füße können beweglich oder fest sein. Durch die Oszillation der Segmente kann sich die Kreatur dann fortbewegen. Um die Bewegungen und Positionen zu berechnen, wird das *Eulersche Polygonzugverfahren* (genauer s.[4, Seite B1., Seite C1]) verwendet. Außerdem hat jede Kreatur noch genau ein Herz und mindestens einen Mund. Außerdem können Segmente noch optional Sensoren haben, diese können das Bewegungsverhalten der Kreatur beeinflussen, wenn sie andere Kreaturen orten. Dabei kann jeder Sensor entweder auf Herzen oder auf Münder reagieren. Reagiert ein Sensor, so beeinflusst er die Parameter seines Segmentes.

3.2 Verhaltensweisen der Kreaturen

Kreaturen können verschieden Verhaltensweisen aufführen, allerdings nur immer eine zu einem Zeitpunkt und sie müssen immer zwangsläufig eine ausführen. Wenn sie nichts anderes tun, führen sie automatisch das Verhalten *Sitzen* aus. Jede Verhaltensweise kostet, der Größe der Kreatur entsprechend, Energie. Sitzen ist das günstigste Verhalten und soll hier den Grundenergieverbrauch der Kreatur darstellen, den sie zum Leben braucht. Die Verhaltensweisen werden entweder durch die Wahrnehmung der Sensoren oder durch Wahrscheinlichkeiten beeinflusst. Die Verhaltensweisen können durch Mutation verändert werden. Ist für eine Verhaltensweise nicht genug Energie vorhanden, stirbt die Kreatur und wird aus der Simulation entfernt. Eine Ausnahme bilden hier die Verhaltensweisen „Reproduzieren“ und „Morphogenese“, Morphogenese kann nur nach Reproduzieren ausgeführt werden, und da beide Verhaltensweisen sehr teuer sind, stirbt die Kreatur nicht wenn sie nicht genug Energie dafür hat, weil das meistens der Fall ist.

3.2.1 Verhaltensweise *Sitzen*.

Die Verhaltensweise *Sitzen* kann von jeder Kreatur ausgeführt werden und wird immer ausgeführt wenn die Kreatur nichts tut. In dem Modell von Turk war dieses Verhalten noch nutzlos, da die Kreatur nichts von Passivität hatten. In dem neuen Modell kann eine Kreatur so gut Energie sparen und von der Assimilierung des Fluxes leben. Auch ein lauernder Jäger wäre so möglich.[1,Seite 5]

3.2.2 Verhaltensweise *Gehen*

Gehen wird ausgeführt wenn die Kreatur sich bewegen soll. Dazu werden einige Füße sticky, also mit hoher Reibung gemacht und andere von diesen Füßen durch strecken der Segmente fortbewegt, an-

schließend werden diese Füße dann beweglich und werden durch das Einziehen des Segmentes hinterher gezogen. Durch rhythmische Wiederholung kann die Kreatur sich dadurch fortbewegen, wenn es auch nicht zwangsläufig. Sensoren können Einfluss auf den Bewegungsrhythmus haben und so die Kreatur in eine bestimmte Richtung lenken.(mathematische Details s. [2])[1,Seite 5]

3.2.3 Verhaltensweise *Essen*

Das Verhalten *Essen* ist komplexer als das reine Fressen einer anderen Kreatur, so beinhaltet es auch das Jagdverhalten und kann ausgelöst werden, falls der Mund auf einem fremden Herzen liegt oder wenn Sensoren ein anderen Herz geortet haben. Das eigentliche *Essen* wird ausgelöst sobald der Mund und das Herz der zu fressenden Kreatur sich überschneiden. Beim *Essen* wird die gesamte Energie der Kreatur, die gefressen wurde, der fressenden Kreatur hinzugefügt. Die gefressene Kreatur stirbt dabei und wird aus der Simulation entfernt.[1,Seite 5]

3.2.4 Verhaltensweise *Assimilieren*

Das Verhalten *Assimilieren* beschreibt den Vorgang den Energieflux aufzunehmen und die Energie zu speichern. Der Anteil der Energie die durch den Energieflux aufgenommen wird, wird durch die größte geschlossene Fläche der jeweiligen Kreatur bestimmt. Die Fläche wird durch eine einfache Polygon – Flächen – Berechnung und der Energiegewinn durch den Anteil den die Kreatur abdeckt von der gesamt Fläche der Umgebung bestimmt.

3.2.5 Verhaltensweise *Reproduktion*

Dieses Verhalten ermöglicht es Kreaturen Nachkommen zu erzeugen. Die Nachkommen haben das Genom der Mutter, mit eventuellen Mutationen. In jedem Simulationsschritte besteht die Chance das dieses Verhalten ausgeführt wird. Die Wahrscheinlichkeit variiert je nach Kreatur und kann durch Mutationen verändert werden. Die Energiekosten werden durch die Anzahl der Komponenten der Kreatur bestimmt. Bevor das Verhalten ausgeführt wird, wird überprüft, ob genügend Energie vorhanden ist und ob der Nachkommen lebensfähig ist. Falls es sich um einen gültigen Nachkommen handelt, wird er in der Nähe der Mutter erschaffen. Da dieses Verhalten verhältnismäßig teuer ist, stirbt die Kreatur nicht wie sonst, wenn nicht genug Energie vorhanden ist. Bei der Reproduktion wird der restliche Energievorrat der Mutter zwischen sich und dem Nachkommen zu gleichen Teilen aufgeteilt.[1,Seite 5]

3.2.6 Verhaltensweise *Morphogenese*

Das Verhalten *Morphogenese* folgt zwingend auf Reproduktion. Dieses Verhalten erzeugt den Phänotyp des neuen Organismus. Die *Morphogenese* ist dafür zuständig aus dem in *Reproduktion* erzeugten Genom einen Phänotype zu erzeugen.

3.3 Mutationen

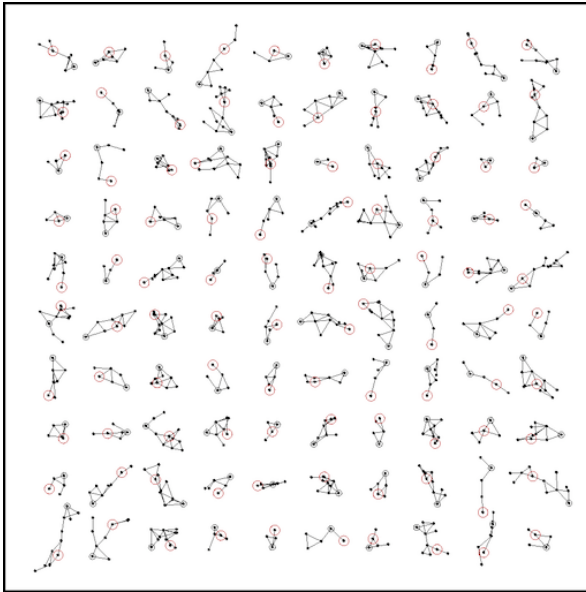


Abbildung 6: Verschiedene durch Mutation entstandene Kreaturen. Quelle:[3]

Mutationen können in drei Gruppen eingeteilt werden: Presegment physical parameters, sensor parameters und Kreaturkörperform. („Mutations can be grouped into three categories: per-segment physical parameters, sensor parameters, and creature body shape“ [2,Seite 4]). Eine Mutation tritt mit einer vorher festgelegten Wahrscheinlichkeit ein.

3.3.1 *Presegment Mutationen*

Bei der *Presegment* Mutationen verändern sich die Parameter eines zufälligen Segmentes. Dabei kann die Länge, die Amplitude der Ozillierung, die Frequenz der Ozillierung, die Phasen der Ozillierung und das Ausmaß des Antriebes verändert werden. [2, Seite 4]

3.3.2 *Sensorparameter*

Bei der Mutation der Sensorparameter wird der Sensor verändert. Dies kann seine relative Position zu dem Segment sein, seine Ausrichtung, also ob er auf Herzen oder auf Münder reagiert oder wie und welchen Wert er von seinem Segment ändert, falls er etwas findet.[2, Seite 4]

3.3.3 *Kreaturkörperform*

Die dritte Art von Mutationen verändert das äußere Erscheinungsbild der Kreatur. Es gibt mehrere Typen von möglichen Mutationen. Der erste Typ verändert entweder die Position des Herzens oder des Mundes zufällig. Der Zweite löscht ein zufälliges Segment des Körpers, dies geht allerdings nur solange die Kreatur ein geschlossener Graph bleibt. Der dritte Typ erzeugt ein neues Segment, das nur an einer Stelle mit einem anderen Segment verbunden ist. Außerdem gibt es noch eine Mutation die zwei solcher losen Segmente zusammenfügt und eine weitere Mutation verbindet zwei solcher Enden mit einem weiteren Segment. Die letzte Mutation erzeugt aus einem losen Segment ein neues Dreieck, in dem zwei weitere Segmente angefügt werden.[2, Seite 5]

Teil III

Forschung

4 Forschung

Das Verhalten der Kreaturen wurde untersucht, in dem verschiedene Einstellungen getestet und jeweils Eckdaten wie die *Mutationsdistance* (s. 4.1 Versuche) gespeichert wurden.

4.1 Versuche

Um einen repräsentativen Vergleichswert zu haben, wurde eine Simulationsreihe so ausgeführt, dass sie im Grunde genau wie das Modell von Turk funktioniert. Alle Verhaltensweisen bekommen die Energiekosten null zugewiesen und das Verhalten Reproduzieren kann nur nach dem Verhalten Fressen ausgeführt werden. Außerdem ist der *Energieflux* auf Null gesetzt. Somit erhalten wir eine Simulation die der von Turk sehr ähnlich ist und können dann prüfen in wie weit sich das Energiemodell auf die Diversität der Kreaturen auswirkt.

Zum Vergleich werden noch Simulationsreihen mit unterschiedlich hohen Fluxwerten gestartet. Um die Diversität zu bestimmen verwenden wir die Einheit *Mutationsdistance*. Die *Mutationsdistance* ist die Anzahl an Mutationen, die seit dem Start in der Verwandtschaftslinie der Kreatur vorhanden sind. Bekommt also eine Kreatur einen Nachkommen, der mutiert ist, so hat dieser die *Mutationsdistance* der Mutter plus eins. Nun können die Simulationen mit einem diskreten Wert untereinander Verglichen werden. (s. Abbildung 7)

4.2 Ergebnisse

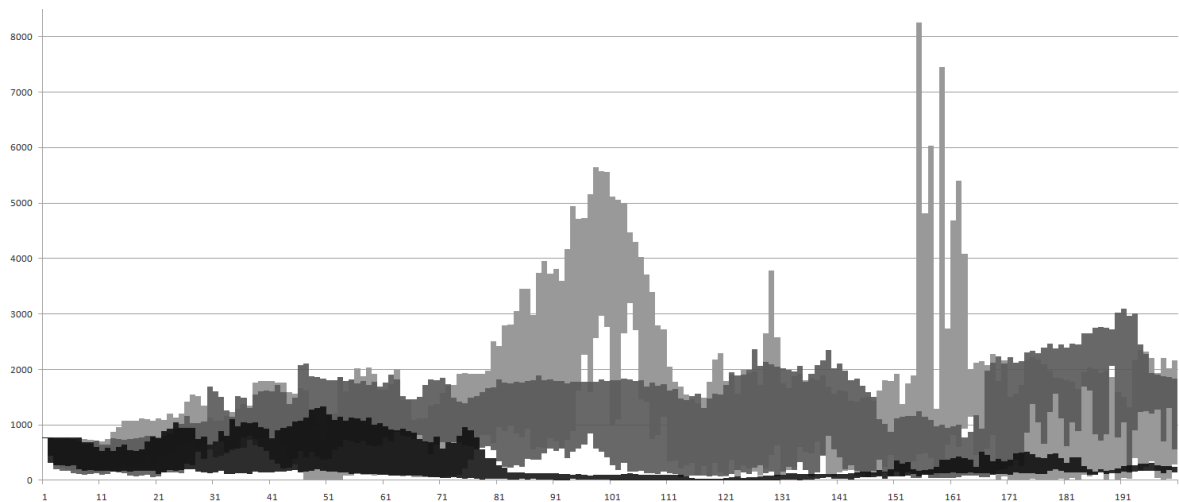


Abbildung 7: Hier sind die Oberen - und Unterenquartile der Größenunterschiede (Y - Achse) von 40 Durchläufen mit den selben Simulationseinstellungen zur jeweiligen *Mutationsdistance* (X - Achse) angeben. Der schwarze Verlauf ist eine Versuchsreihe ohne Energieflux, der hellgraue einer mit einem Fluxwert von 70 und der dunkelgraue einer mit einem Fluxwert von 100. Quelle: [1]

Es wurden mehrere Simulationen mit jeweils 40 Durchläufen gestartet. Es stellte sich heraus, dass in Umgebungen mit einem *Fluxenergiewert* unter 70 langfristig kein Leben möglich ist, deshalb sind in den Ergebnissen auch nur Simulationen mit *Fluxwerten* über 70 oder ohne Energiemodell aufgeführt. Es wurden verschiedene Kriterien zur Bestimmung von Diversität genommen. Die Ergebnisse waren alle ähnlich. In der Grafik sind die Oberen - und Unterenquartile der Größenunterschiede aufgeführt. Wie man erkennen kann sind die Unterschiede signifikant zwischen den Simulationen mit Energiemodell und denen ohne. Die große Schwäche, der geringen Diversität nach längeren Zeiträumen, des alten Modells von Turk wurde durch die Einführung des Energiemodells überwunden. Außerdem ist klar zu

erkennen das die Diversität größer ist je näher man dem kritischen Punkt kommt, an dem kein Leben mehr möglich ist. Daraus wird gefolgert, dass Diversität durch knappe Ressourcen gefördert wird.

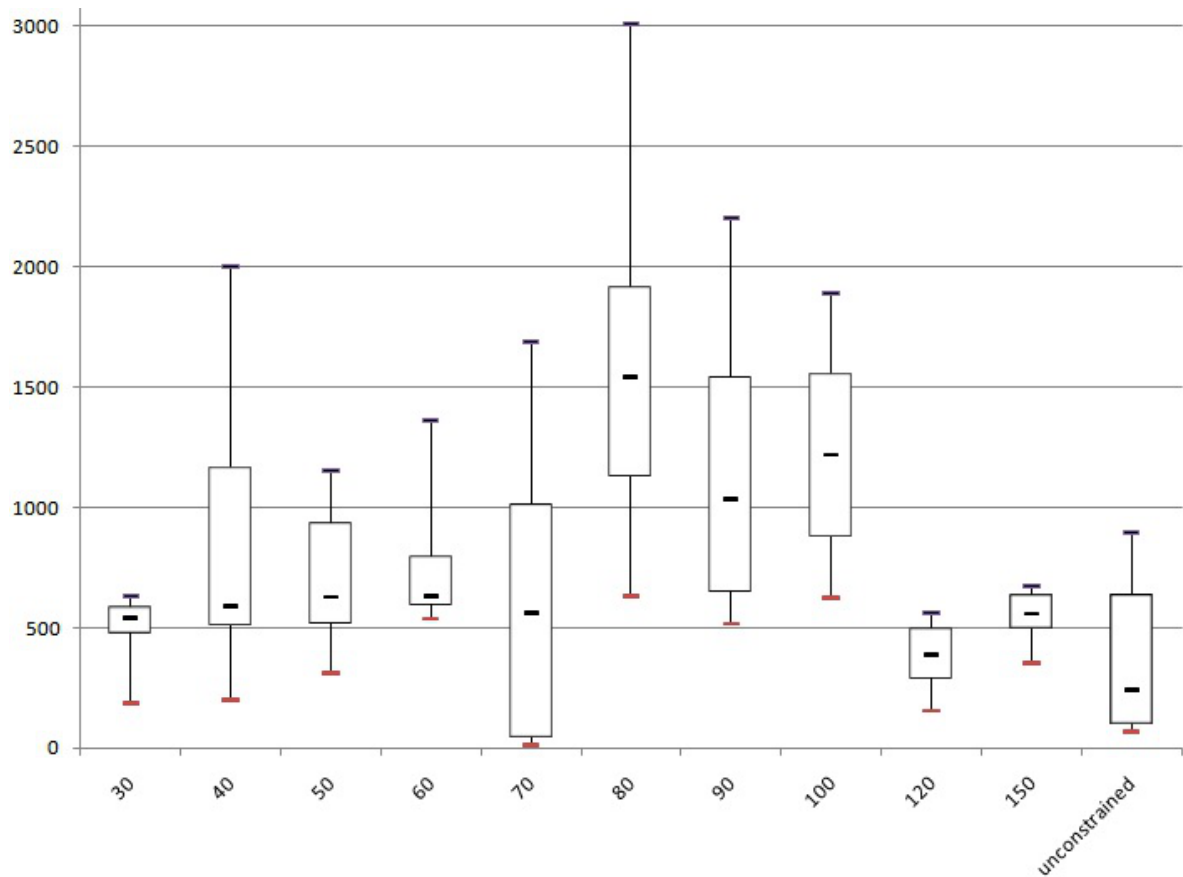


Abbildung 8: “Box plot der Inter-Quartilereichweite der Kreaturrengröße bei verschiedenen Energielevels. Jeder Plot zeigt den 9. Perzentil, das erste Quartil, den Median, den dritten Quartil und den 91. Perzentile für die Verteilung der Inter-Quartilereichweite beim gegebenen Energielevel. Die Box ganz rechts zeigt die “unconstrained energy version” der Simulation.”[1,Seite 8] Quelle: [1]

4.3 Interpretation der Ergebnisse

Allerdings sind die Ergebnisse immer mit Vorsicht in die Realität zu übertragen. “Das Endergebnis ist interessant aber nicht vergleichbar mit biologischer Evolution. Unsere Simulation kann niemals eine solche Menge an Strukturen generieren, weil die *Kreaturenreproduktions-*, *Morphogenese* - und *Mutationsoperatoren* fest sind.“ (“The end result is interesting but does not compare with biological evolution. Our simulations could never generate such a range of structures because the creatures’ representation, morphogenesis and mutation operators are fixed,“) [1, Seite 8] Außerdem erkannten die Autoren aus ihren Experimenten, dass es noch sehr viel benötigt um eine reale Open – End – Simulation zu machen. Sie sind der Meinung, sie müssten beides verändern können die Kreatruen, aber auch die Art der Veränderungen.[1, Seite 8]

4.4 Zukünftige Ausrichtung

Einige Möglichkeiten des Metamodells wurden noch nicht mit den Experimenten abgedeckt. Des Weiteren sind noch nicht homogene Welten völlig unerforscht, obwohl sie im Metamodell geplant sind.

4.5 Eigene Meinung

Ich halte diese Arbeit für durchaus sehr interessant, da mit ihr die Ideen von Selektion hervorragend dargestellt werden kann. Sie kann uns zwar selbst keine konkreten Erkenntnisse zur biologischen Evo-

lution geben, gibt uns aber eine Grundlegende Idee, was Evolution ist und veranschaulicht sehr schön die Grundideen von der evolutionären Selektion. Wissenschaftlich denke ich bringt das alles aber keine neuen Erkenntnisse und kann im besten Fall als Grundlage für komplexere Modelle verwendet werden. Allerdings sehe ich Potenzial für ein solches Programm in der Schulbiologie. Es ist äußerst anschaulich und könnte ergänzendes Material zur Evolutionstheorie - Stoffeinheit sein.

Literatur

- [1] Hoverd, T.; Stepney, S. (2011): Energy as a driver of diversity in open-ended evolution. In: Advances in Artificial Life, ECAL 2011 (eds.: T. Lenaerts et al.), MIT Press, E-book (open access), <https://mitpress.mit.edu/catalog/item/default.asp?ttype=2&tid=12760&mode=toc> (last access 12. 4. 2012), pp. 356-363.
- [2] Greg Turk. Sticky feet: Evolution in a multi-creatur physical simulation. In Proceedings of Artificial Life XII, pages 496 - 503, Odense, Denmark, 2010.
- [3] Greg Turk. Sticky feet: Evolution in a multi-creatur physical simulation.
<http://www.cc.gatech.edu/~turk/stickyfeet/index.html>. zuletzt abgerufen am 30.09.2011.
- [4] Andrew Witkin, David Bara. Physically based modeling: Principles and practice. In SIGGRAPH, 1997. Course Notes.