

## 1. Einleitung

In dieser Facharbeit werde ich mich mit dem Thema Evolutionsbionik auseinandersetzen. Dies ist ein sehr komplexer, aber auch aktueller Bereich der Bionik, der in vielerlei Hinsichten neue Möglichkeiten, insbesondere im Anwendungsbereich der Technik, eröffnet.

Der Begriff der Evolutionsbionik ist sehr weitläufig und taucht oftmals im Deckmantel vieler Splitterbezeichnungen auf. So lassen sich unter anderem der Genetische Algorithmus, die Genetische Programmierung und die Evolutionsstrategie unter Evolutionsbionik zusammenfassen.

Ich werde die Evolutionsbionik in dieser Facharbeit lediglich in die zwei, wie mir scheint, bedeutendsten Teilbereiche unterteilen.

Der erste ist der **Evolutionäre Algorithmus**, der zu den oben genannten Splitterbezeichnungen der Evolutionsbionik sehr enge Zusammenhänge aufweist. Definiert als Optimierungsverfahren bildet der Evolutionäre Algorithmus einen Lichtblick für viele technische Anwendungsgebiete, in denen herkömmliche Optimierungsverfahren scheitern. Ende der 1950er Jahre wurden das erste Mal Prinzipien der Evolution auf die Optimierung im technischen Bereich übertragen, doch erst in den 60er und 70er Jahren gab es erste nennenswerte Erfolge. Danach feierte der Evolutionäre Algorithmus einen steilen Aufstieg, da man trotz mangelndem Problemwissen zu einer Lösung gelangen konnte. Heute werden Evolutionäre Algorithmen in einer Vielzahl technischer Bereiche angewendet und sind damit in der Zukunft der modernen Technik klar etabliert.

Beim zweiten großen Anwendungsbereich der Evolutionsbionik wird die Natur als ein natürlicher, ständig fortlaufender Evolutionärer Algorithmus angesehen und dessen Lösungen auf

wechselnde oder extreme Umweltbedingungen einfach übertragen. Aufgrund dieser Vorgehensweise lässt sich dieser Anwendungsbereich auf alle Arten der Bionik übertragen.

Doch zur Verbesserung der Verständlichkeit muss zu allererst geklärt werden, was die Evolution überhaupt ausmacht.

## 2. Was ist überhaupt Evolution?

Evolution ist als die fortschreitende Entwicklung von Lebewesen in der Natur definiert. Dabei begrenzt sich diese Entwicklung auf drei elementare biologische Faktoren, die auf der Erde seit Jahrmillionen für eine Optimierung an gegebene Umweltbedingungen und eine Anpassung an veränderliche Umweltbedingungen gesorgt haben: Mutation, Neu-/Rekombination und Selektion.

**Mutation** bezeichnet die zufällige Veränderung und die damit verknüpfte Entstehung einer variablen Form des Ausgangsproduktes, im Fall der Evolution des Ausgangsgenoms. Dieser Vorgang ist ungerichtet und erweitert die Diversität<sup>1</sup> der Population.

Als **Neu- oder Rekombination** wird die Neukopplung zweier erfolgreicher Eigenschaften bezeichnet, wodurch die Vielfältigkeit der Gesamtpopulation erheblich gesteigert werden kann.

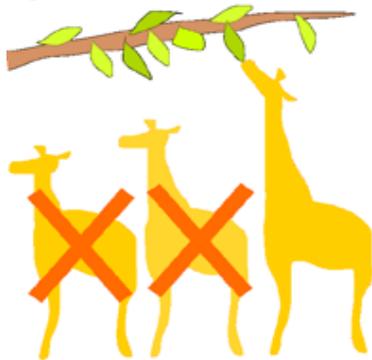
Die **Selektion** findet am Ende von jeder Mutation und Neu-/Rekombination statt und ist die Entscheidung über die Fitness<sup>2</sup> des entstandenen Endproduktes. Im Falle der Evolution ist die Selektion im Überleben oder Sterben eines Tieres mit dem neu entstandenen Genom zu finden. Überlebt das Tier, dann

---

1 *Auch:* Variabilität

2 Fachbegriff aus der Populationsgenetik; *hier:* Anpassungswert, relative Überlebensrate

ist die Fitness des neuen Genoms unter momentan herrschenden Umwelteinflüssen vergleichsweise hoch und die Erbinformationen werden durch Vermehrung weitergegeben und verbreitet. Stirbt es, dann war die Fitness des Genoms niedrig und es wird nicht weiter verbreitet. Dabei ist immer zu beachten, dass die Fitness des Genoms immer in engem Bezug zu den momentan herrschenden Umwelteinflüssen steht. Dieser Zusammenhang begünstigt stark die Anpassung an veränderte Umweltbedingungen und die Optimierung bei gleichbleibenden Umweltbedingungen.



**Abb. 1:** *Selektion in der Tierwelt anhand eines fiktiven Beispiels.*

Wie an der vereinfacht dargestellten Abbildung 1 zu erkennen, sterben im Falle dieses Beispiels die Tiere mit dem Phänotyp eines vergleichsweise kurzen Halses aus, während die Tiere mit langen Hälsen überleben, da nur diese die Nahrung erreichen können.

Auf die Prinzipien der Selektion bezogen bedeutet dies, dass bei tiefer hängenden Zweigen auch die Tiere mit kurzen Hälsen Überlebenschancen hätten, welche bei momentan herrschenden Umweltbedingungen aber nicht bestehen.

Zusammengefasst bedeutet dies, dass die Organismen mit den erfolgreichsten Eigenschaften überleben und die Möglichkeit haben, sich zu vermehren, während Organismen mit weniger erfolgreichen Eigenschaften aussterben.<sup>i ii iii</sup>

### 3. Evolutionärer Algorithmus

#### 3.1 Funktionsweise des Evolutionären Algorithmus

Die Vorgehensweise beim Evolutionären Algorithmus orientiert sich stark an der Evolution. Ein Ausgangswert wird zuerst nach stochastischen Regeln verändert, vergleichbar mit einer Mutation in der Evolution. Das Produkt dieser Veränderung wird nun auf seine Fitness überprüft und hinsichtlich einer Zielfunktion<sup>3</sup> bewertet. Liegt eine Fitnesssteigerung vor, das heißt, ist die Fitness des Produkts größer als die des Ausgangswerts, so wird das Produkt behalten, liegt eine Fitnessabsenkung vor, wird es verworfen. Dieses Auswahlverfahren ist vergleichbar mit der Selektion in der Evolution.

Wird der Ausgangswert bereits am Anfang in mehrere Partialwerte unterteilt, so liegt bei der Neuverknüpfung zweier Produkte mit hoher Fitness von zwei verschiedenen Partialwerten ein Vorgang vor, der ähnlich der Neu-/Rekombination oder Reproduktion ist.

Grundsätzlich lässt sich die Funktionsweise des Evolutionären Algorithmus in vier Schritte unterteilen:

Schritt 1: *Initialisierung*. Bestimmen des Ausgangswerts / der Partialwerte (meistens der Partialwerte)

Schritt 2: *Evaluation*. Bewertung der Fitness jedes einzelnen Partialwerts unter Berücksichtigung der Zielfunktion.

Schritt 3: *Selektion*. Wie oben erklärt werden einige Partialwerte ausgesondert und andere behalten.

---

<sup>3</sup> Die Zielfunktion gibt die Bedingungen an, die zum Schluss erfüllt sein sollten.

Schritt 4: *Reproduktion*. Die behaltenen Partialwerte werden zufällig verändert (Mutation).

Diese vier Schritte werden so lange wiederholt, bis ein so genanntes Abbruchkriterium<sup>4</sup> erfüllt ist.



**Abb. 2:** *Durchführungsabfolge eines Evolutionären Algorithmus*

Durch den engen Bezug des Evolutionären Algorithmus mit der Evolution werden in der allgemeinen Definition oft Fachbegriffe aus der Populationsbiologie verwendet (z.B. statt Ausgangswert Anfangspopulation; statt Partialwert Individuum etc.), welche in der technischen Anwendung jedoch nur selten benutzt werden.<sup>5</sup>

4 Vorher festgelegtes Kriterium nach dem entschieden wird, ob der Vorgang fortgesetzt oder abgebrochen wird.

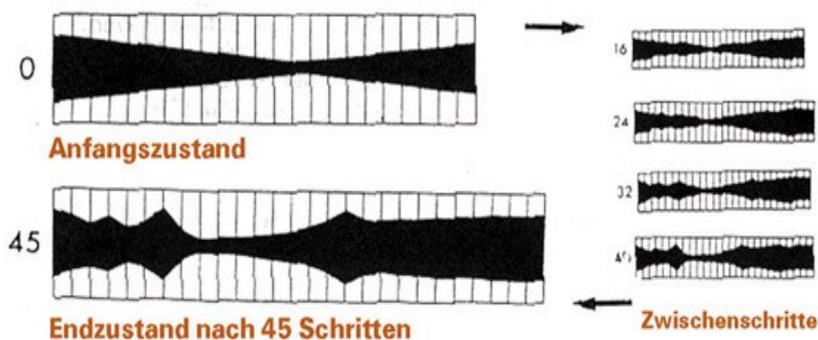
5 Vgl. <http://emergenz.hpfsc.de/html/node33.html>

## 3.2 Beispiele

### 3.2.1 Zweiphasen-Überschalldüse

Die Zweiphasen-Überschalldüse wird zur Energieerzeugung in der Raumfahrt genutzt.

Mit den Mitteln im Jahre 1968 war es nicht möglich, den optimalen Querschnitt einer solchen Düse rechnerisch zu ermitteln oder auch nur nachzuvollziehen. Um dennoch zu einer Optimierung zu gelangen, wendete der Informatiker Paul Schwefel die Prinzipien des Evolutionären Algorithmus an.



**Abb. 3:** Venturidüse (oben) und optimierte Form (unten) mit einigen Zwischenschritten (rechts)

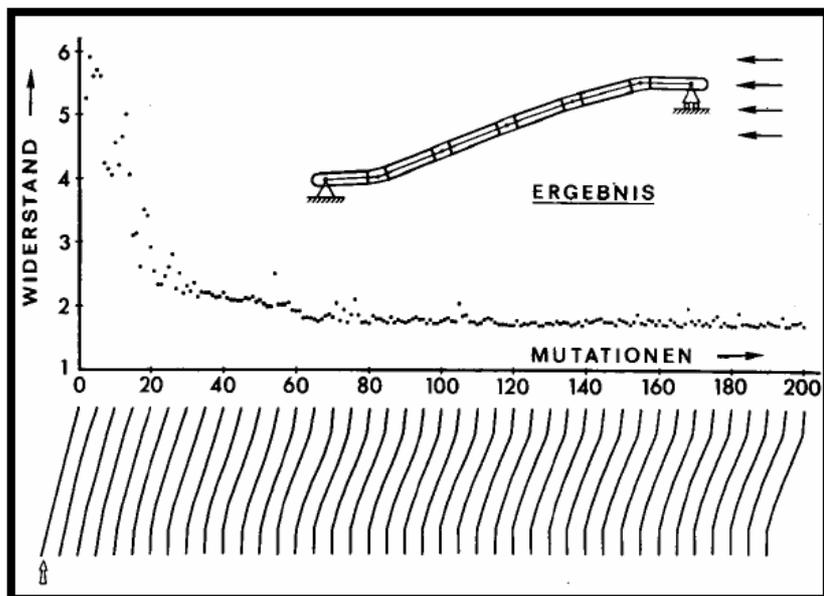
Als Ausgangsform wählte Paul Schwefel eine standartmäßige Venturidüse, die er in einzelne Sektoren unterteilte und zufällige Veränderungen an den Sektoren durchführte (Mutation). Die neuen Formen der Düse untersuchte er jedes Mal auf ihre Effizienz. Lag eine Steigerung der Effizienz vor, so wurde die Veränderung beibehalten und mit ihr weitergearbeitet, trat der gegenteilige Fall ein, so wurde die Veränderung verworfen (Selektion). Diese Schritte wiederholte Schwefel 45 Mal, bis die Optimierung der Zweiphasen-Überschalldüse erreicht worden war. Die Effizienz stieg im Vergleich zu der als Ausgangsform benutzten Venturidüse um 40%.<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Vgl. <http://www.bernd-joschko.de/psychobionik-kurz.html>

### 3.2.2 Optimierung des Luftwiderstandes einer schräg angeströmten Gelenkplatte

Mit dem folgenden Beispiel bewies der Informatiker Ingo Rechenberg 1978 die Funktionalität der von ihm mitbegründeten Evolutionsstrategie (Teilbereich der Evolutionsbionik *siehe Einleitung*).

Zur Optimierung des Windwiderstandes (in diesem speziellen Fall kann auch von Minimierung gesprochen werden) einer schräg angeströmten Gelenkplatte ging Rechenberg ähnlich vor wie Paul Schwefel vier Jahre zuvor bei der Optimierung der Zweiphasen-Überschalldüse. Zuerst teilte er die Gelenkplatte in verschiedene Sektoren ein. Hierbei muss angemerkt werden, dass die von Rechenberg benutzte Gelenkplatte zwar ähnlich einer Fahrradkette viele bewegliche Glieder besaß, diese bei der Untersuchung im Windkanal aber mit Schrauben fixiert wurden, sodass nur zwischen den Messungen Änderungen der Form der Gelenkplatte möglich waren.



**Abb. 4:** Zwischenschritte bis zur optimalen Form der Gelenkplatte

Die einzelnen Sektoren wurden nach dem Prinzip der Mutation

zufällig verändert und danach, ähnlich wie beim Beispiel 2.2.1, nach ihrem Windwiderstand selektiert. Diese Schritte wiederholte Rechenberg 200 Mal, sodass der Windwiderstand schließlich optimal (minimal) war.<sup>iv 7</sup>

### **3.2.3 Brückenbau**

Besonders bei komplexen Sachverhalten, bei denen ein effektives Berechnungsverfahren noch nicht gefunden ist, werden evolutionäre Algorithmen gerne benutzt.

Auch beim Brückenbau werden oftmals nicht nur zur Optimierung der Form und des Gewichts der einzelnen Brückenbestandteile, sondern auch zur Bestimmung der optimalen Lage der Brücke evolutionäre Algorithmen zu Rate gezogen.<sup>8</sup>

## **3.3 Motivation für die Anwendung Evolutionärer Algorithmen**

Die Motivation zur Anwendung von Evolutionären Algorithmen ist zu einem großen Teil in der Robustheit und Anpasstheit vieler Organismen zu finden, da selbst in den abgelegensten und lebensfeindlichsten Umgebungen Leben zu finden ist.<sup>9</sup> So gibt es beispielsweise verschiedene Arten der extremophilen Organismen, die unter anderem im Inneren von Gestein leben, extrem hohe Temperaturen problemlos verkraften oder sogar hoher Strahlung bzw. starken Giftstoffen ausgesetzt überleben

---

7 Vgl. <http://www.ib.hu-berlin.de/~wumsta/infopub/pub2001f/biuz04.pdf>

8 Vgl. [http://de.wikipedia.org/wiki/Evolutionärer\\_Algorithmus](http://de.wikipedia.org/wiki/Evolutionärer_Algorithmus)

9 Vgl. [http://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CDYQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.scai.fraunhofer.de%2Ffileadmin%2FArbeitsgruppeTrottenberg%2FWS0809%2Fseminar%2FMaennig.ppt&ei=kKc8Ud7JOoWMtAbhx4FY&usg=AFQjCNE6LXYUqH637cbu7VUR7qGwQ3rQzA&sig2=l4\\_wSOGupdQa3qY2lQ9MUg](http://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CDYQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.scai.fraunhofer.de%2Ffileadmin%2FArbeitsgruppeTrottenberg%2FWS0809%2Fseminar%2FMaennig.ppt&ei=kKc8Ud7JOoWMtAbhx4FY&usg=AFQjCNE6LXYUqH637cbu7VUR7qGwQ3rQzA&sig2=l4_wSOGupdQa3qY2lQ9MUg)

können.<sup>10</sup> <sup>11</sup> Diese Erkenntnisse lassen den Schluss zu, dass durch die Anwendung Evolutionärer Algorithmen ähnlich verblüffende Ergebnisse in der Technik erzielt werden können wie in der Natur.

### 3.4 Vor- und Nachteile

#### 3.4.1 Vorteile gegenüber herkömmlicher Optimierungsverfahren

Der wesentliche Vorteil des evolutionären Algorithmus liegt darin, dass nur sehr wenig Problemwissen vorhanden sein muss. Das heißt, dass eine Optimierung auch dann möglich ist, wenn erst wenige Faktoren in diesem Sachzusammenhang bestimmt worden sind.

Mit Bezug auf das oben genannte Beispiel der Zweiphasen-Überschalldüse bedeutet dies, dass es Paul Schwebel trotz unbekannter Gradienten<sup>12</sup> allein durch Anwendung eines Evolutionären Algorithmus gelungen ist, die Form der Düse zu optimieren.

Ein weiterer Vorteil von Evolutionären Algorithmen ist die mögliche Behandlung von Problemen, bei denen herkömmliche Optimierungsverfahren versagen. Dieser Fall tritt insbesondere bei Nichtlinearität<sup>13</sup>, Diskontinuität<sup>14</sup> und Multimodalität<sup>15</sup> ein.

Dazu kommt, dass nach einem Evolutionären Algorithmus üblicherweise mehrere Lösungsmöglichkeiten vorliegen, da es eine parallele Suche nach potentiellen Lösungen gibt und so mit

---

10 Vgl. <http://www.nhm.ac.uk/research-curation/research/projects/euk-extreme/>

11 Vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Extremophile>

12 Mathematischer Operator für Änderungsrate und Richtung der größten Änderung

13 Fehlende Folgerichtigkeit innerhalb der Funktion

14 Fehlende Stetigkeit innerhalb der Funktion

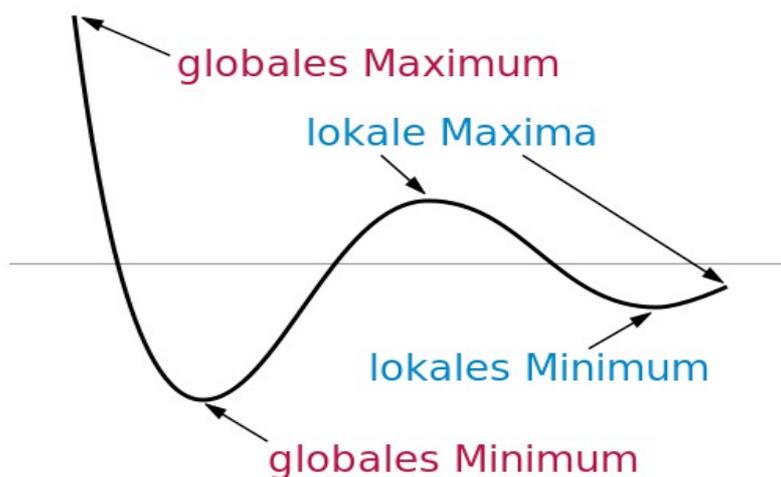
15 Problemstellung auf mehrere Sachbereiche übertragen

einem breiteren Spektrum an Möglichkeiten weitergearbeitet werden kann.<sup>16</sup>

### 3.4.2 Nachteile gegenüber herkömmlicher Optimierungsverfahren

Der wesentlichste Nachteil von Evolutionären Algorithmen ist die sehr lange Rechenzeit. Selbst mit modernen Hochleistungsrechnern wird für die Lösung eines Problems meist ein Zeitraum benötigt, der bei Anwendung eines herkömmlichen, auf diese Problemart speziell entwickelten Optimierungsverfahrens weit unterschritten wird. Aus diesem Grund werden in Bereichen, in denen bereits explizite Optimierungsverfahren entwickelt worden sind, nur selten Evolutionäre Algorithmen angewandt. Auch insbesondere, wenn die Gradienten bekannt sind, ist der Einsatz von Evolutionären Algorithmen eher vereinzelt.

Ein weiterer Nachteil ist, dass, wenn das Abbruchkriterium zu hoch oder einfach in fehlerhafter Höhe angesetzt wird, der Fall eintreten könnte, dass nicht das globale, sondern nur das lokale Optimum erreicht wird.



<sup>16</sup> Vgl. <http://www.cs.uni-paderborn.de/fileadmin/Informatik/AG-Kleine-Buening/files/ws10/pg-agents/seminar/SeminarWybranietz.pdf>

**Abb. 5:** *Graph einer Funktion mit verschiedenen Maxima und Minima*

Wie in der Abbildung zu erkennen, gibt es in einigen Funktionen mehrere Maxima und Minima.<sup>17</sup> Werden nun beim Evolutionären Algorithmus die Schritte der Initialisierung, Evaluation, Selektion und Reproduktion durch ein fehlerhaftes Abbruchkriterium nicht oft genug durchgeführt, kann es dazu kommen, dass das lokale Maximum bzw. das lokale Minimum für das globale Maximum bzw. das globale Minimum gehalten wird und deshalb ein Ergebnis erzielt wird, das deutlich unter dem erreichbaren Wert liegt. Dies ist insbesondere in der technischen Anwendung von Evolutionären Algorithmen aus ökonomischer Sicht auf jeden Fall zu vermeiden. Allerdings muss an dieser Stelle hinzugefügt werden, dass das Risiko, ein lokales Maximum zu erreichen, auch bei herkömmlichen Optimierungsverfahren besteht und in einigen Fällen sogar noch höher ist, als bei Evolutionären Algorithmen. Folglich könnte dieser Punkt auch zu den Vorteilen Evolutionärer Algorithmen gegenüber herkömmlicher Optimierungsverfahren gezählt werden.<sup>18</sup>

### **3.5 Evolutionärer Algorithmus – Strategie oder Glück?**

Durch die Erklärung der Vorgehensweise beim Evolutionären Algorithmus könnte der Anschein erweckt worden sein, die Weiterentwicklung biologischer Systeme innerhalb der Evolution und damit verknüpft der Evolutionäre Algorithmus sei lediglich ein Zufallswurf und somit sei eine Optimierung im technischen Anwendungsbereich nur pures Glück. Zum besseren

---

<sup>17</sup> Vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Extremwert>

<sup>18</sup> Vgl. <http://www.cs.uni-paderborn.de/fileadmin/Informatik/AG-Kleine-Buening/files/ws10/pg-agents/seminar/SeminarWybranietz.pdf>

Verständnis des außergewöhnlichen Effizienzvorteils des evolutionären Algorithmus gegenüber einem blinden Zufallswurf mag ein oft verwendetes Argument von Evolutionsgegnern dienen. Diese vertreten den Standpunkt, dass die Chancen zur Höherentwicklung biologischer Systeme etwa mit der Aufgabe vergleichbar wären, von einem Affen, der auf einer Schreibmaschine herumklimpert, zu erwarten, dass er eines Tages den genauen Wortlaut von sämtlichen Stücken Shakespeares trafe.<sup>19 20</sup>

Wie groß die Chancen sind, dass genau dieser Fall eintritt, lässt sich am besten anhand eines Zahlenspiels verdeutlichen. Allein für das bekannte Zitat „To be or not to be: That is the question.“ mit seinen 41 Zeichen und den 32 Möglichkeiten (26 Buchstaben plus 6 Sonderzeichen) liegt die Wahrscheinlichkeit des richtigen Tippens bei  $4 \times 10^{-51} : 1$ , eine so enorm kleine Zahl, dass sie sich jeder Vorstellung entzieht. Selbst bei der Annahme, der Affe würde jede Sekunde eine Zeile tippen und dies seit Anbeginn des Universums (seit rund 13,75 Mrd. Jahren), hätte er gerade einmal  $4,4 \times 10^{17}$  Zeilen beendet, wonach die Wahrscheinlichkeit, in diesem Zeitraum auch nur einmal das Zitat richtig wiederzugeben, bei etwa  $9,4 \times 10^{-31} \%$  liegt. War es bereits oben schwierig sich eine Vorstellung von den Gegebenheiten zu verschaffen, so ist es jetzt gänzlich unmöglich.<sup>21</sup>

Diese enorm geringe Wahrscheinlichkeit der blinden Zufallsmethode ist darin begründet, dass bei keiner der getippten Zeilen Erfahrungen der vorangegangenen mitberücksichtigt werden. Jede Zeile steht praktisch ohne Bezug zu den vorangegangenen.

Im Gegenteil dazu steht der evolutionäre Algorithmus. Dieser

---

19 Vgl. <http://seelebitte.wordpress.com/2010/09/08/1000-affen-an-schreibmaschinen/>

20 Vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Infinite-Monkey-Theorem>

21 Eigene Berechnungen

baut auf den vorangegangenen Ergebnissen auf, sodass, auf das Beispiel des tippenden Affen bezogen, jede größere Annäherung an die Zielzeile übernommen und als Basis für den nächsten Versuch benutzt wird, während jede größere Abweichung verworfen wird.<sup>22</sup>

Beim Blick auf die Evolution wird klar, warum dieser Bezug zwischen den einzelnen Evolutionsschritten so wichtig für die Entstehung höherer biologischer Formen, wie z.B. die des Menschen ist. Denn im Genom des Menschen gibt es deutlich mehr Parameter als im oben genannten Shakespeare Zitat Buchstaben, sodass die Wahrscheinlichkeit für die Entstehung eines einzelnen Menschen im Falle einer Zufallsmethode annähernd Null wäre.

Aufgrund des Bezugs zwischen den Iterationsschritten<sup>23</sup> innerhalb des Evolutionären Algorithmus lässt sich festhalten, dass es sich beim Evolutionären Algorithmus um ein komplexes Optimierungsverfahren handelt, welches vom blinden Zufallswurf weit entfernt ist.

---

22 Vgl. <http://www.janina-baer.de/downloads/paper.pdf>

23 Iteration *hier*: wiederholen desselben Rechenschritts

## **4. Die Natur – Ein uralter Evolutionärer Algorithmus**

Seit der Entstehung der ersten Mikroorganismen in der Ursuppe haben sich die Lebewesen auf der Erde beständig weiterentwickelt. Dabei galten und gelten auch immer noch die oben genannten Prinzipien der Evolution. Durch den Zusammenhang zwischen Evolution und Evolutionsbionik in Bezug auf die Vorgehensweise kann die Weiterentwicklung der Lebewesen auf der Erde als ein gigantischer Evolutionärer Algorithmus angesehen werden. Dieser begann, als das erste Leben entstand und wird erst enden, wenn es kein Leben mehr auf der Erde gibt.

Auf der Grundlage, dass die Evolution nichts anderes ist als ein natürlich ablaufender Evolutionärer Algorithmus, werden die Lösungen der Natur auf wechselnde oder extreme Wetterbedingungen schlichtweg übernommen und unter anderem auf den technischen Anwendungsbereich übertragen.<sup>24</sup> Zwar kann nicht gesagt werden, dass die Evolutionsbionik für die Bionik eine notwendige Bedingung ist, aber zur Erklärung der Vorgehensweise bei der Bionik ist die Evolutionsbionik unausweichlich.

### **4.1 Beispiele**

Anmerkung: Da dieser Teil der Evolutionsbionik die Grundlage für alle Teilbereiche der Bionik darstellt, wäre es möglich, Beispiele aus allen Formen der Bionik aufzuzählen. Mit den folgenden Beispielen habe ich versucht, ein möglichst breites Spektrum wiederzugeben.

---

<sup>24</sup> Vgl. <http://www.bernd-joschko.de/psychobionik-kurz.html>

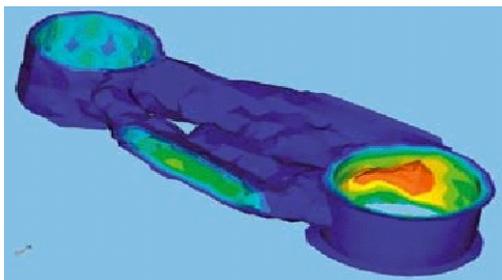
### 4.1.1 Lotuseffekt

Der Lotuseffekt beschreibt das Hervorrufen eines Selbstreinigungseffekts der Lotusblume durch eine Wachsschicht, die kleine Noppen bildet. Aufgrund dieser Noppen perlt Wasser und Dreck ab und Schimmel- bzw. Pilzsporen finden keinen Halt auf der Pflanze (siehe Abb. 6 Anhang).

Im technischen Anwendungsbereich wird dieses Vorgehen kopiert, um z.B. wasserabweisende Farbe herzustellen. Besonders gefragt ist der Lotuseffekt in Einsatzbereichen, wo Oberflächen Wind und Wetter direkt ausgesetzt sind.<sup>25</sup>

### 4.1.2 Gussvorgang

In der Natur bilden sich Knochen immer ausgehend von dem Punkt, der später am stabilsten sein muss. Dieses einfache Prinzip wurde auf den industriellen Gussvorgang übertragen. Um nun den optimalen Gussvorgang zu bestimmen, muss nur die Stelle gefunden werden, die später die größte Belastung trägt und ausgehend davon, der restliche Vorgang berechnet werden.



**Abb. 7:** Bestimmung des Punktes mit der größten Belastung (rot) eines zu gießenden Bauteils<sup>v</sup>

---

<sup>25</sup> Vgl. <http://www.naturpark-grebenzen.at/naturpark-erforschen/bionik/experimentegarten-der-bionik/navigation/station-7-oberflaechenbionik.html>

### 4.1.3 Winglets in der Flügeltechnik

Als die so genannten Winglets werden die hoch gebogenen Flügelenden großer Flugzeuge bezeichnet. Ihr Zweck besteht darin, große Verwirbelungen, die beim Flug zwangsläufig entstehen, in viele kleinere Verwirbelungen zu verwandeln. Durch diese Technik sinkt der Treibstoffverbrauch und der Flug wird stabiler.



**Abb. 8/9:** Links: Adler im Gleitflug mit gespreizten Flügelspitzen. Rechts: Flügel eines großen Passagierflugzeugs mit Winglet.

Diese technische Entwicklung beruht auf der Beobachtung verschiedener Gleitvögel.<sup>26 27</sup>

Die Beispiele zeigen, wie wichtig die Bionik und somit die Evolutionsbionik für neue technische Entwicklungen ist.

---

<sup>26</sup> Vgl. <http://www.helles-koepfchen.de/artikel/1934.html>

<sup>27</sup> Vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Bionik>

## 5. Fazit

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Evolutionsbionik der Technik ein neues Spektrum an Möglichkeiten eröffnet. Zwar wird zur Optimierung mithilfe eines evolutionären Algorithmus mehr Zeit benötigt als mit einem herkömmlichen Optimierungsverfahren, jedoch ist meiner Meinung nach ein Ergebnis, das nach einiger Zeit erzielt wird, einem aufgrund mangelnder Gradienten fehlenden Ergebnis nach sehr kurzer Zeit vorzuziehen. Am Anfang meiner Recherchen wusste ich praktisch nichts über Evolutionsbionik und konnte mir auch nicht wirklich etwas darunter vorstellen. Allerdings wurde ich dann von Zeit zu Zeit immer mehr überrascht, wie viele alltägliche Dinge doch auf die Evolutionsbionik zurück zu führen sind. Aus diesen Gründen ist mein Fazit eindeutig:

In der Zukunft der Technik ist die Evolutionsbionik klar etabliert.

## 6. Quellenverzeichnis

**i)** <http://www.univerlag.uni-goettingen.de/ring07-08/> Stand  
12.03.13:  
16. Oktober 2007  
Rainer Willmann (Göttingen)  
Nicht erst seit Darwin: Eine Ideengeschichte der  
Evolutionstheorie und ihrer Konsequenzen

**ii)** <http://science.yourdictionary.com/evolution> Stand  
12.03.13:

The process by which species of organisms arise from earlier life forms and undergo change over time through natural selection . The modern understanding of the origins of species is based on the theories of Charles Darwin combined with a modern knowledge of genetics based on the work of Gregor Mendel. Darwin observed there is a certain amount of variation of traits or characteristics among the different individuals belonging to a population. Some of these traits confer fitness—they allow the individual organism that possesses them to survive in their environment better than other individuals who do not possess them and to leave more offspring. The offspring then inherit the beneficial traits, and over time the adaptive trait spreads through the population. In twentieth century, the development of the the science of genetics helped explain the origin of the variation of the traits between individual organisms and the way in which they are passed from generation to generation. This basic model of evolution has since been further refined, and the role of genetic drift and sexual selection in the evolution of populations has been recognized. See also natural selection, sexual selection. See Notes at adaptation, Darwin.

A process of development and change from one state to another, as of the universe in its development through time.

A Closer Look Darwin's theory of evolution by natural selection assumed that tiny adaptations occur in organisms constantly over millions of years. Gradually, a new species develops that is distinct from its ancestors. In the 1970s, however, biologists Niles Eldredge and Stephen Jay Gould proposed that evolution by natural selection may not have been such a smooth and consistent process. Based on fossils from around the world that showed the abrupt appearance of new species, Eldredge and Gould suggested that evolution is better described through punctuated equilibrium. That is, for long periods of time species remain virtually unchanged, not even gradually adapting. They are in equilibrium, in balance with the environment. But when confronted with environmental challenges—sudden climate change, for example—organisms adapt quite quickly, perhaps in only a few thousand years. These active periods are

punctuations, after which a new equilibrium exists and species remain stable until the next punctuation.

**iii)** <http://www.janina-baer.de/downloads/paper.pdf> Stand 12.03.13:

Evolution:

Die Evolution von Arten ist ihr Entstehen, Erhalten (durch Fortpflanzung) und Vergehen; sie vollzieht sich in Populationen. In allen natürlichen Populationen gibt es eine phänotypische und genotypische Variabilität, in der vielfältige Formen von Selektion und Isolation wirksam werden können. Diese Prozesse realisieren sich als Zusammenspiel der Evolutionsfaktoren.

Selektion:

Selektion (Auswahl) findet bei allen Lebensprozessen auf allen Organisationsstufen lebender Systeme statt. (Überleben des am besten Angepassten; natürliche Auslese)

Variabilität:

Es gibt erbliche und nicht erbliche Variabilität. (erblich: Mutation, Rekombination; nicht erblich: Modifikation.)

Für die Evolutionsstrategien ist die erbliche Variabilität, vor allem die Mutation, wichtig.

Mutation:

Eine sprunghafte und zufällig auftretende Veränderung der Erbinformationen.

Bedeutung der Mutationen:

- wirken sich für ein Individuum meistens indifferent, selten nachteilig oder günstig aus
- sind eine wesentliche Grundlage der Evolution. Durch Veränderung im Genbestand einer Population erhöht sich die Variabilität in der Population.

**5)** <http://emergenz.hpfc.de/html/node33.html> Stand 12.03.13:

Abschließend werden die genetischen Algorithmen vorgestellt. (z. B. nach GS02, S. 243ff) Den genetischen Algorithmen liegt die evolutionäre Entwicklungstheorie nach Darwin als Modellvorstellung zugrunde. Es wird dabei versucht, dass sich eine Lösung für ein Problem mit der Zeit entwickelt und verbessert. Dazu werden am Anfang zufällig eine Reihe von Lösungen, die Individuen, ermittelt, die das Problem bereits lösen (siehe dazu Abbildung 6 auf Seite ). Es erfolgt eine Bewertung der einzelnen Individuen mithilfe der Fitnessfunktion. Aus den besten Individuen werden Nachfolger erzeugt, indem die Individuen Teile ihrer Gene an die Kinder vererben. Dabei kommt z. B. die Kreuzung zum Einsatz. Um den Genpool der Individuen aufzufrischen, werden spontane Mutationen zugelassen. Die entstandenen Kinder werden wiederum bewertet. Damit beginnt der Prozess erneut und wird

solange iterativ fortgesetzt, bis sich eine akzeptable Lösung ergibt.

Von besonderem Interesse im Hinblick auf diese Arbeit ist, dass bewusst der Zufall in Form von Mutationen genutzt wird, um eine Lösung zu erhalten. Weiterhin liegt bei den genetischen Algorithmen ein nicht-deterministisches Vorgehen vor. Es ist prinzipiell vorher nicht genau bestimmbar, wie viel Generationen von Individuen benötigt werden, um eine akzeptable Lösung hervorzubringen und wie diese Lösung am Ende aussieht. Das Hauptproblem bei der Implementierung von genetischen Algorithmen besteht in einer effizienten Kodierung der Lösungen als Individuen.<sup>32</sup>

Neben der Anwendung von genetischen Algorithmen bei Such- und Optimierungsproblemen werden diese zur Bestimmung der Gewichte von neuronalen Netzen benutzt. An diesem Vorgehen kann man erkennen, dass in der Praxis oftmals mehrere Verfahren kombiniert werden, die auf Selbstorganisation, Nicht-Linearität und Nicht-Determinismus basieren.

**6)** <http://www.bernd-joschko.de/psychobionik-kurz.html>

Stand 12.03.13:

Auf der Erde hat über einige Milliarden Jahre ein riesiges Experiment stattgefunden: Die Evolution hat dadurch die optimalsten Ergebnisse entwickelt, Ingenieure lernen davon und nutzen dieses Prinzip der Evolutionsbionik.

Einer der ersten Evolutionsbioniker war Ingo RECHENBERG, seit 1972 Inhaber der Professur für das Fachgebiet Bionik und Evolutionstechnik an der Technischen Universität Berlin.

Aus seiner Arbeitsgruppe hat Hans Paul Schwefel 1968 eine Zweiphasen-Überschalldüse für die Stromerzeugung in der Raumfahrt entwickeln sollen. Als Ausgangszustand nahm er eine konventionell geformte Venturidüse, unterteilte sie in verschiedene Sektoren und kombinierte sie in 45 Schritten jeweils per Zufall neu. Mit den damaligen Mitteln konnte der ermittelte Querschnittsverlauf nicht berechnet werden. Zufällige Änderungen, analog den Mutationen und Neuzusammenstellungen, führten zu Formen, die auf Effizienz getestet wurden. Was sich bewährte, wurde als Basis für weitere Änderungen genommen, alles andere wurde verworfen (Selektion). Das optimale Ergebnis stellte sich nach 45 Schritten ein. Der Wirkungsgrad stieg um 40%.

Heute gibt es an verschiedenen Hochschulen Lehrstühle für Bionik.

**iv)** Oertel jr., Herbert; Ruck, Sebastian:  
Bioströmungsmechanik: Grundlagen, Methoden und

Phanomene, Viewig+Teubner, Seite 67 ff. 2.4 Evolutionstheorie.  
Nachlesbar Stand 12.03.13:

[http://books.google.de/books?id=242xfQ-J9M8C&pg=PA67&lpg=PA67&dq=gelenkplatte+rechenberg&source=bl&ots=46XXTiGbh4&sig=5nvBE7EX\\_oV9mzHYT66HEhjiFkA&hl=de&sa=X&ei=Ov49Ufe8D8jitQbuyYCQDg&ved=0CDAQ6AEwAA#v=onepage&q=gelenkplatte%20rechenberg&f=false](http://books.google.de/books?id=242xfQ-J9M8C&pg=PA67&lpg=PA67&dq=gelenkplatte+rechenberg&source=bl&ots=46XXTiGbh4&sig=5nvBE7EX_oV9mzHYT66HEhjiFkA&hl=de&sa=X&ei=Ov49Ufe8D8jitQbuyYCQDg&ved=0CDAQ6AEwAA#v=onepage&q=gelenkplatte%20rechenberg&f=false)

7) <http://www.ib.hu-berlin.de/~wumsta/infopub/pub2001f/biuz04.pdf> Stand 12.03.13:

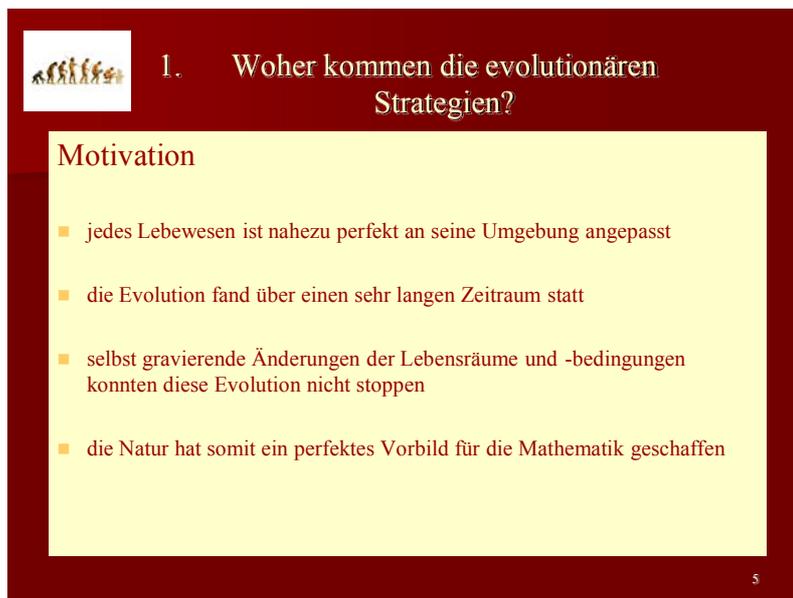
Das folgende Beispiel geht insbesondere auf Überlegungen von I. Rechnberg zurück, der mit seiner Evolutionsstrategie 1973 [2] erfolgreich zeigen konnte, dass man eine Gelenkplatte in einem Windkanal anströmen kann, um mit der Evolutionsstrategie in Abbildung 3 zu einem minimalen Widerstand zu gelangen.

8) [http://de.wikipedia.org/wiki/Evolutionärer\\_Algorithmus](http://de.wikipedia.org/wiki/Evolutionärer_Algorithmus)  
Stand 12.03.13:

Grundsätzlich können Evolutionäre Algorithmen in allen Bereichen eingesetzt werden, in denen numerische Lösungen von Optimierungsproblemen gesucht werden. Beispiele für solche Gebiete sind die Ingenieurwissenschaften, die Naturwissenschaften, die Finanzwirtschaft und das Operations Research, das sich mit der Lösung quantitativer betrieblicher Fragestellungen beschäftigt. Beispiele für solche Anwendungen sind:

Konstruktion von komplexen Bauteilen oder ganzen Systemen, z. B. im Brückenbau. Evolutionäre Algorithmen dienen hier der Optimierung von Lage, Form und Gewicht der einzelnen Brückenbestandteile. Ähnliche Anwendung auch in der Konstruktion von Gussteilen.

v) [http://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0C DYQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.scai.fraunhofer.de%2Ffileadmin%2FArbeitsgruppeTrottenberg%2FWS0809%2Fseminar%2FMaennig.ppt&ei=kKc8Ud7JOoWMtAbhx4FY&usg=AFQjCNE6LXYUqH637cbu7VUR7qGwQ3rQzA&sig2=14\\_wSOGup dQa3qY2IQ9MUg](http://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0C DYQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.scai.fraunhofer.de%2Ffileadmin%2FArbeitsgruppeTrottenberg%2FWS0809%2Fseminar%2FMaennig.ppt&ei=kKc8Ud7JOoWMtAbhx4FY&usg=AFQjCNE6LXYUqH637cbu7VUR7qGwQ3rQzA&sig2=14_wSOGup dQa3qY2IQ9MUg) Stand 12.03.13:



1. Woher kommen die evolutionären Strategien?

Motivation

- jedes Lebewesen ist nahezu perfekt an seine Umgebung angepasst
- die Evolution fand über einen sehr langen Zeitraum statt
- selbst gravierende Änderungen der Lebensräume und -bedingungen konnten diese Evolution nicht stoppen
- die Natur hat somit ein perfektes Vorbild für die Mathematik geschaffen

5

9) <http://www.nhm.ac.uk/research-curation/research/projects/euk-extreme/> Stand 12.03.13:  
 The best studied high-temperature eukaryote is the acidophilic phototroph *Cyanidium caldarium*: see (Seckbach, 1994) for review. Its exact taxonomic affiliations are still unclear, but it is generally grouped with the "red algae" (rhodophytes) since its chloroplasts possess chlorophyll-a and C-phycoyanin. Brock (1978) carefully examined the growth and ecology of this organism and determined its optimal growth temperature was 45°C and the maximum temperature at which growth occurred was 57°C. Earlier reports of growth at much higher temperatures, eg Copeland, (1936) reported 75-80°C, were attributed by Brock and his colleagues to either the measurement of temperature away from the organisms themselves, or to the temperature having increased and the organisms being observed in the process of dying. It is interesting to note that Brock isolated numerous strains of *Cyanidium caldarium* growing at various temperatures and found that they all had the same optimum growth temperature: that is, they do not seem to have formed strains adapted to growth at higher temperatures. It is also interesting to note that the niche occupied by *Cyanidium*, of hot acid conditions, does not seem to have any competition for

the available resources in that thermophilic cyanobacteria require alkaline conditions for growth. It is also noteworthy that at the time he was writing (Brock, 1978), all the hot, acid soils and waters in the world were colonised by Cyanidium, which seem identical, save for the acid springs in Hawaii, which seem to be devoid of life. Brock suggests that this might simply be because Hawaii is geologically recent and far distant from other hot springs, so that there has not yet been an opportunity for Cyanidium to colonise this particular habitat. There are a wide variety of other eukaryotes living at somewhat less extreme temperatures, see Tansey & Brock (1978) for review.

**10)** <http://de.wikipedia.org/wiki/Extremophile> Stand 12.03.13:

Es gibt viele verschiedene Kategorien von extremophilen Organismen. Die Klassifizierung entspricht der Art und Weise, wie die Umweltbedingungen des jeweiligen Organismus von dem abweichen, was aus menschlicher Sicht als „normal“ betrachtet wird. Diese Klassifizierung ist nicht exklusiv, das heißt auf manche Extremophile treffen mehrere Kategorien zu. Organismen, die beispielsweise im Inneren von heißen Gesteinen weit unter der Erdoberfläche leben, sind nicht nur Endolithe, sondern auch thermophil und barophil.

Folgende Kategorien sind bekannt:

Thermophile: Organismen, die optimal an hohe Temperaturen (80 °C und mehr) angepasst sind

Psychrophile: Organismen, die optimal an niedrige Temperaturen (15 °C und niedriger) angepasst sind

Kryophile: Organismen, die an besonders kalte Umgebungen unter -10 °C angepasst sind. Sie stellen die Steigerung der Psychrophile dar.

Halophile: Organismen, die optimal an hohe Salzkonzentrationen (mindestens 0,2 mol/l Salz) angepasst sind

Methanophile: Organismen, die an eine hohe Methankonzentrationen angepasst sind, beispielsweise Bakterien im Methanhydrat

Alkaliphile: Organismen, die optimal an einen hohen pH-Wert (pH 9 und höher) angepasst sind

Acidophile: Organismen, die optimal an einen niedrigen pH-Wert (pH 3 und niedriger) angepasst sind

Barophile: Organismen, die optimal an hohen hydrostatischen Druck angepasst sind

Radiophile: Organismen, die sehr hohe Dosen ionisierender Strahlung tolerieren (siehe *Deinococcus radiodurans*), oder sogar mithilfe des Pigments Melanin in Energie umzuwandeln vermögen und diese für ihr Wachstum nutzen können. Es handelt sich hierbei um bestimmte melaninreiche Pilzarten, die

im zerstörten Atomreaktor von Tschernobyl als schwarzer Belag an den Reaktorwänden auffällig wurden.[3]

Endolithe: Organismen, die im Inneren von Gesteinen leben

Oligotrophe: Organismen, die optimal an eine nährstoffarme Umgebung angepasst sind

Toxitolerante: Organismen, die großen Konzentrationen an zerstörerischen Agenzien wie Giftstoffen oder Strahlung widerstehen können. So können manche sogar in Benzol-gesättigtem Wasser überleben, andere gedeihen im Kühlwasserbehälter eines Kernreaktors

Xerotolerante: Organismen, die an eine wasserarme Umgebung angepasst sind. Beispiele sind extrem halophile oder endolithische Organismen.

**15)** <http://www.cs.uni-paderborn.de/fileadmin/Informatik/AG-Kleine-Buening/files/ws10/pg-agents/seminar/SeminarWybranietz.pdf>  
Stand 12.03.13:

Ein großer Vorteil evolutionärer Algorithmen ist deren geringe Anzahl notwendiger Voraussetzungen.

Es muss lediglich möglich sein, Lösungen zu bewerten und miteinander zu

vergleichen. Voraussetzungen wie Linearität, Stetigkeit, Differenzierbarkeit, usw. der zu optimierenden

Funktion(en) haben evolutionäre Algorithmen nicht und das macht sie universell einsetzbar.

**16)** <http://de.wikipedia.org/wiki/Extremwert> Stand 12.03.13:  
In der Mathematik ist ein Extremwert (oder Extremum; Plural: Extrema) der Oberbegriff für lokales und globales Maximum und Minimum. Ein lokales Maximum ist der Wert der Funktion an einer Stelle, in deren Umgebung die Funktion keine größeren Werte annimmt. Die zugehörige Stelle wird lokaler Maximierer/Minimierer oder Extremstelle (Maximalstelle/Minimalstelle) genannt, die Kombination aus Stelle und Wert Extrempunkt.

Ein globales Maximum wird auch absolutes Maximum genannt, für ein lokales Maximum wird auch der Begriff relatives Maximum gebraucht. Lokale und globale Minima sind analog definiert.

**17)** <http://www.cs.uni-paderborn.de/fileadmin/Informatik/AG-Kleine-Buening/files/ws10/pg-agents/seminar/SeminarWybranietz.pdf>  
Stand 12.03.13:

Populationen verlieren bei evolutionären Algorithmen ohne

Koevolution schnell eine „gesunde“ Diversität, d. h. der Genpool konvergiert schnell gegen (lokale) Maxima, sodass kein neues Genmaterial gefunden werden kann.

**18)** <http://seelebitte.wordpress.com/2010/09/08/1000-affen-an-schreibmaschinen/> Stand 12.03.13:

Es ist ein Gedankenexperiment so wie Schrödingers Katze – das sogenannte Infinity-Monkey-Theorem, dessen bekannteste Variante wohl die folgende ist:

Ein Affe tippt unendlich lange an einer Schreibmaschine und fast sicher wird er eines Tages alle Werke Shakespeares zu Papier gebracht haben.

**19)** <http://de.wikipedia.org/wiki/Infinite-Monkey-Theorem> Stand 12.03.13:

Das Infinite-Monkey-Theorem (engl. infinite ‚unendlich‘, monkey ‚Affe‘ und theorem ‚Lehrsatz‘), auch deutsch Theorem der endlos tippenden Affen, besagt, dass ein Affe, der unendlich lange zufällig auf einer Schreibmaschine herumtippt, fast sicher irgendwann alle Bücher in der Bibliothèque nationale de France, der Nationalbibliothek Frankreichs, schreiben wird. In englischsprachigen Ländern heißt es, dass so irgendwann die Werke William Shakespeares entstehen werden.

Eine von mehreren Varianten des Theorems geht von einer unendlichen Anzahl von Affen aus, die gleichzeitig auf Schreibmaschinen herumtippen, und behauptet, dass mindestens einer von ihnen direkt und ohne Fehler die oben genannten Werke eintippen wird.

Die Formulierung des Theorems soll verblüffen und bedient sich daher einer bildlichen Sprache. Das Theorem ist wissenschaftlichen Ursprungs und hat einen mathematisch fundierten Hintergrund. Es verdeutlicht in Form eines Beispiels eine Aussage der Wahrscheinlichkeitstheorie, das Lemma von Borel und Cantelli. Das aus dem Theorem resultierende Gedankenexperiment kann bei der Vorstellung von Unendlichkeit und der Einordnung von Wahrscheinlichkeiten nützlich sein und wird auch zu diesen Zwecken gebraucht.

**21)** <http://www.janina-baer.de/downloads/paper.pdf> Stand 12.03.13:

1.5. Der Affen-Versuch von Dawkin

In diesem Versuch geht es darum, dass ein Affe zufällig ein Shakespeare-Zitat tippen soll. Das ist eigentlich unmöglich. Es gibt aber eine intelligentere Lösung: Ausgangspunkt ist eine zufällig

getippte Zeile. Nun werden nur einige Buchstaben variiert. Wenn die Übereinstimmung mit dem Zitat wächst, nimm diese Zeile als Ausgangsbasis für weitere Versuche; wenn die Übereinstimmung nicht wächst, so nimm die alte Basis als Ausgangszeile. Man kann sich vorstellen, dass es nach genügend Wiederholungen zum Erfolg kommt.

In diesem Versuch wurden die Prinzipien der Evolution angewendet: die Mutation als Änderung im Satzbau der Erbinformation. Sie findet nicht überall gleichzeitig statt, sondern nur an einzelnen Buchstaben. Durch die Selektion (Richtiges behalten, Falsches verwerfen) wird die Übereinstimmung (also Anpassung) mit der Umwelt ständig verbessert.

**23)** <http://www.bernd-joschko.de/psychobionik-kurz.html>  
Stand 12.03.13:

Auf der Erde hat über einige Milliarden Jahre ein riesiges Experiment stattgefunden: Die Evolution hat dadurch die optimalsten Ergebnisse entwickelt, Ingenieure lernen davon und nutzen dieses Prinzip der Evolutionsbionik.

**24)** <http://www.naturpark-grebenzen.at/naturpark-erforschen/bionik/experimentegarten-der-bionik/navigation/station-7-oberflaechenbionik.html>      Stand  
12.03.13:

Lotuseffekt  
Natürlicher Ursprung

Professor Wilhelm Barthlott entdeckte in den 70er-Jahren das Phänomen des Lotus Effektes: Die Blätter der im fernen Osten beheimateten Lotusblume sind immer sauber, obwohl die Lotuspflanze im Schlamm wächst. Die Blätter haben die Eigenschaft, sich selbst zu reinigen. Die Wassertropfen perlen einfach ab und entfernen zusätzlich noch auf dem Blatt liegende Schmutzpartikel. Es gibt auch solche Pflanzen in unserem Gebiet, nämlich der Frauenmantel, die Kapuzinerkresse, die Akelei, aber auch Tiere, wie z.B.: bei Insektenflügel weisen den Effekt auf.

Wie passiert das?

Damit eine Oberfläche über einen Selbstreinigungseffekt verfügt, muss sie Wasser abweisend (Hydrophob) und uneben sein. Als Wasser abweisende Schicht verwendet der Lotus eine Schicht aus kleinen Wackskristallen, welche kleine Noppen bilden. Aber auch die Oberflächenspannung des Wassers ist

wichtig, denn Wasser bildet eine Art Haut und nimmt eine Kugelartige Form an, sodass es die Noppen der Pflanze nur wenig berührt.

Wie nützt dieser Effekt der Pflanze?

Aufgrund der selbstreinigenden Oberfläche werden diese Pflanzen nicht von Schimmel-oder Pilzsporen betroffen. So wird das Wachstum der Pflanze nicht beeinträchtigt.

Technische Anwendungsmöglichkeiten

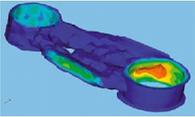
Forschern ist es gelungen diesen Lotuseffekt nachzubauen. Es gibt viele Einsatzbereiche: Es gibt Fassadenfarbe, die Wasser und Schmutz von Hauswänden einfach abperlen lässt und Silikonwachs, das auf verschiedene Materialien aufgesprüht werden kann. Der Lotuseffekt ist vor allem geeignet für Oberflächen, die ständig Wind und Wetter ausgesetzt sind.

vi) [http://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0CFYQFjAE&url=http%3A%2F%2Fwww.scai.fraunhofer.de%2Ffileadmin%2FArbeitsgruppeTrottenberg%2FWS0809%2Fseminar%2FMAennig.ppt&ei=a1w\\_UYmxJITbsgbmpIHICw&usg=AFQjCNE6LXYUqH637cbu7VUR7qGwQ3rQzA&sig2=S7W-JOEqiOgbcBFou0xdqA&bvm=bv.43287494,d.Yms](http://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0CFYQFjAE&url=http%3A%2F%2Fwww.scai.fraunhofer.de%2Ffileadmin%2FArbeitsgruppeTrottenberg%2FWS0809%2Fseminar%2FMAennig.ppt&ei=a1w_UYmxJITbsgbmpIHICw&usg=AFQjCNE6LXYUqH637cbu7VUR7qGwQ3rQzA&sig2=S7W-JOEqiOgbcBFou0xdqA&bvm=bv.43287494,d.Yms) Stand 12.03.13:



### 1. Woher kommen die evolutionären Strategien?

**Motivation**



- Industriebeispiel:
- Verwendung einer evolutionären Strategie in der Bionik
- Knochen bauen sich von dem Punkt ausgehend auf, der die größte Belastung aushalten bzw. am stabilsten sein muss
- → finde diesen Punkt in der zu gießenden Form
- → berechne optimale Vorgehensweise für den Gussvorgang
- viele Anwendungen im Bereich der Elektrotechnik
- meistens jedoch multikriteriell

8

25) <http://www.helles-koepfchen.de/artikel/1934.html> Stand 12.03.13:

Auch moderne Flugzeugkonstrukteure nehmen sich den Vogel zum Beispiel: Im Gleitflug spreizt der Adler seine Flügelspitzen nach außen. Dadurch entstehen an den Flügelspitzen viele kleine

Luftwirbel, die den Flug weniger stören. Die Flugzeuge liegen heutzutage durch die hoch gestellten Spitzen an den Flügelenden sicherer in der Luft und verbrauchen weniger Kraftstoff.

Noch ein Tier gab den Konstrukteuren einen entscheidenden Hinweis, auch wenn es sich nicht in den Lüften bewegt: der Hai. Der schnell schwimmende Meeresbewohner hat mikroskopisch feine, in Strömungsrichtung verlaufende Rillen in seiner Haut. Die Forscher des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt stellten nach dem Vorbild der Haifischhaut eine Folie her, mit der die Oberfläche moderner Flugzeuge ausgestattet wird. Bis zu drei Prozent des sehr teuren und umweltschädlichen Flugzeugtreibstoffs Kerosin können so eingespart werden. Das hört sich zwar nicht nach viel an, sind aber pro Flug über eine längere Distanz für jede Maschine etwa 2,4 Tonnen (also 2.400 Kilogramm) Treibstoff.

**26)** <http://de.wikipedia.org/wiki/Bionik> Stand 12.03.13:  
Winglets an den Enden der Tragflächen von Flugzeugen: große Wirbel an den Flügelspitzen von Flugzeugen bedingen einen hohen Treibstoffverbrauch, der durch den Einsatz von Winglets um rund fünf bis sechs Prozent reduziert werden kann. Untersuchung von Flügeln segelnder/gleitender Vögel als Flugzeug-Analogie. Beschreibung der Handschwinge von bestimmten Vogelarten (etwa Bussard, Kondor und Adler), die statt eines großen Wirbels mehrere kleinere verursachen und damit insgesamt weniger Energie verbrauchen. Herstellung künstlicher Flügel mit mehreren Wirbelablösestrukturen (Winglets). Flugzeugkonstrukteure haben die Winglets zu einem Schleifenprofil am Flügelende (split-wing loop) weiterentwickelt (Spiroid). Das Beispiel zeigt, dass am Ende einer Optimierung deren bionische Herleitung nicht immer sichtbar sein muss.

## 7. Anhang

**Abb. 1:** *Selektion in der Tierwelt anhand eines fiktiven Beispiels.*

Quelle:

[http://www.dkriesel.com/science/optimization\\_strategies\\_and\\_design\\_automation](http://www.dkriesel.com/science/optimization_strategies_and_design_automation) Stand 12.03.13:



**Abb. 2:** *Durchführungsabfolge eines Evolutionären Algorithmus*

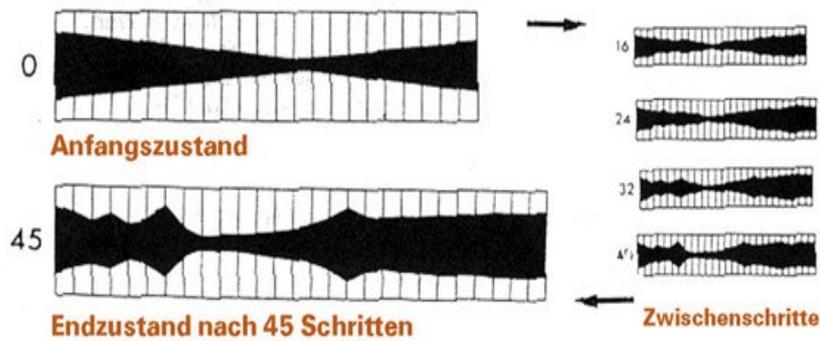
Quelle: <http://emergenz.hpfsc.de/html/node33.html> Stand 12.03.13:



**Abb. 3:** Venturidiüse (oben) und optimierte Form (unten) mit einigen Zwischenschritten (rechts)

Quelle: <http://www.bernd-joschko.de/psychobionik-kurz.html>

Stand 12.03.13:



**Abb. 4:** Zwischenschritte bis zur optimalen Form der Gelenkplatte

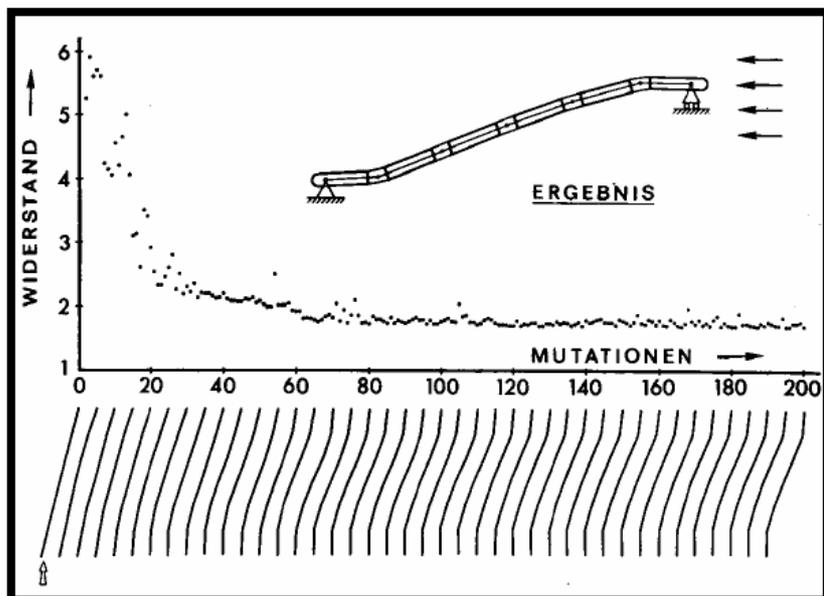
Quelle:

[http://www.ib.hu-](http://www.ib.hu-berlin.de/~wumsta/infopub/pub2001f/biuz04.pdf)

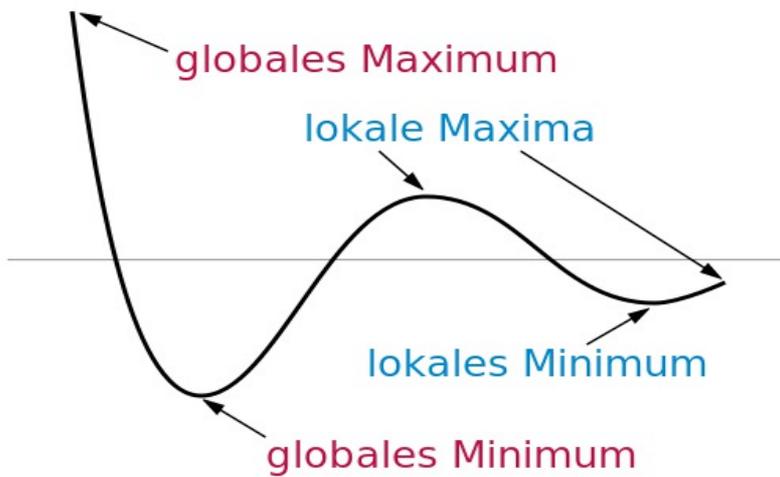
[berlin.de/~wumsta/infopub/pub2001f/biuz04.pdf](http://www.ib.hu-berlin.de/~wumsta/infopub/pub2001f/biuz04.pdf)

Stand

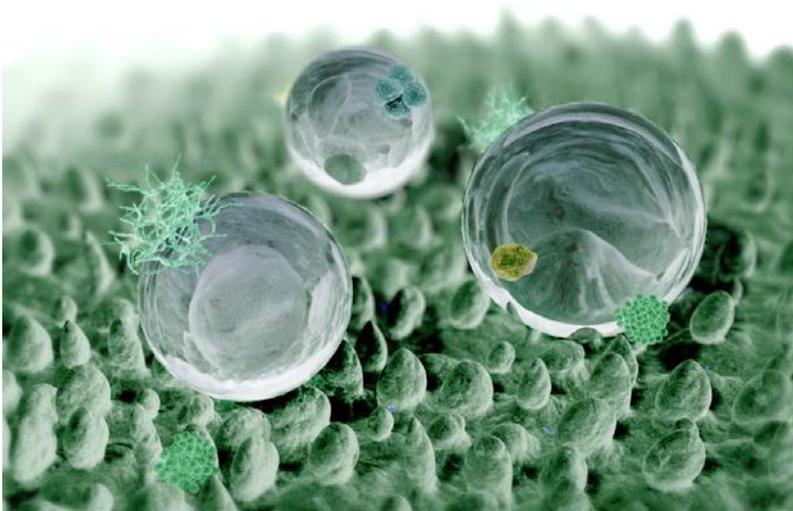
12.03.13:



**Abb. 5:** Funktion mit verschiedenen Maxima und Minima  
Quelle: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Extrema\\_exampl\\_de.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Extrema_exampl_de.svg) Stand 12.03.13:



**Abb. 6:** Wassertröpfchen mit Dreck und Schimmelsporen perlen an den Noppen einer Wachsschicht ab  
Quelle: [http://www.g-v-b.de/lotuseffekt\\_coating.htm](http://www.g-v-b.de/lotuseffekt_coating.htm) Stand 12.03.13:



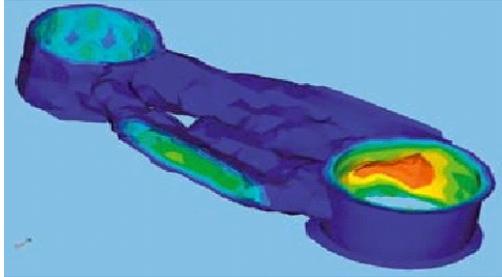
**Abb. 7:** Bestimmung des Punktes mit der größten Belastung (rot) eines zu gießenden Bauteils

Quelle:

[http://www.google.de/url?](http://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0CFYQFjAE&url=http%3A%2F%2Fwww.scai.fraunhofer.de%2Ffileadmin%2FArbeitsgruppeTrottenberg%2FWS0809%2Fseminar%2FMAennig.ppt&ei=a1w_UYmxJITbsgbmpIHICw&usg=AFQjCNE6LXYUqH637cbu7VUR7qGwQ3rQzA&sig2=S7W-JOEqiOgbcBFou0xdqA&bvm=bv.43287494,d.Yms)

[sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0CFYQFjAE&url=http%3A%2F%2Fwww.scai.fraunhofer.de%2Ffileadmin%2FArbeitsgruppeTrottenberg%2FWS0809%2Fseminar%2FMAennig.ppt&ei=a1w\\_UYmxJITbsgbmpIHICw&usg=AFQjCNE6LXYUqH637cbu7VUR7qGwQ3rQzA&sig2=S7W-JOEqiOgbcBFou0xdqA&bvm=bv.43287494,d.Yms](http://www.scai.fraunhofer.de/fileadmin/ArbeitsgruppeTrottenberg/WS0809/seminar/MAennig.ppt) Stand

12.03.13:



**Abb. 8:** Adler im Gleitflug mit gespreizten Flügelspitzen

Quelle: <http://www.helles-koepfchen.de/artikel/1934.html> Stand 12.03.13:



**Abb. 9:** *Flügel eines großen Passagierflugzeugs mit Winglet.*

Quelle:

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:CO-Winglet.JPG> Stand  
12.03.13:



## **8. Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Facharbeit selbstständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Arbeit, die im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt aus anderen Werken oder dem Internet entnommen wurden, mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe. Wichtige aus dem Internet übernommene Informationen habe ich im Anhang vollständig beigefügt.

Hiermit erkläre ich, dass ich damit einverstanden bin, dass die von mir verfasste Facharbeit der schulinternen Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird.

- i Vgl. <http://www.univerlag.uni-goettingen.de/ring07-08/>
- ii Vgl. <http://science.yourdictionary.com/evolution>
- iii Vgl. <http://www.janina-baer.de/downloads/paper.pdf>
- iv Vgl. Oertel jr., Herbert; Ruck, Sebastian: Bioströmungsmechanik: Grundlagen, Methoden und Phänomene, Viewig+Teubner, Seite 67 ff. 2.4 Evolutionstheorie.
- v Vgl. [http://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0CFYQFjAE&url=http%3A%2F%2Fwww.scai.fraunhofer.de%2Ffileadmin%2FArbeitsgruppeTrotenberg%2FWS0809%2Fseminar%2FMaennig.ppt&ei=a1w\\_UYmxJITbsgbmpIHICw&usq=AFQjCNE6LXYUqH637cbu7VUR7qGwQ3rQzA&sig2=S7W-JOEqiOgbcBFou0xdqA&bvm=bv.43287494,d.Yms](http://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0CFYQFjAE&url=http%3A%2F%2Fwww.scai.fraunhofer.de%2Ffileadmin%2FArbeitsgruppeTrotenberg%2FWS0809%2Fseminar%2FMaennig.ppt&ei=a1w_UYmxJITbsgbmpIHICw&usq=AFQjCNE6LXYUqH637cbu7VUR7qGwQ3rQzA&sig2=S7W-JOEqiOgbcBFou0xdqA&bvm=bv.43287494,d.Yms)