

Memetische Algorithmen

...der Versuch einer Einordnung

Vortrag im Rahmen der LVA
Seminar: Intelligente Systeme
Institut für Systemtheorie und Simulation
Johannes Kepler Universität, Linz
22.6.2004

Mag. Andreas Meiser,
Georg von Peuerbach Gymnasium Linz, Austria, Juni 2004.⊗
meiser@georgvonpeuerbach.at

⊗ **Copyright Note:** Copying is permitted under the condition that
- the paper is kept unchanged
- in particular, the copyright note is included, and
- a note ist sent to meiser@georgvonpeuerbach.at

Memetische Algorithmen

...der Versuch einer Einordnung

1. Wissenschaftstheoretische Grundüberlegungen.

1.1. Theorien.

Grundsätzlich liegt das Ziel der Naturwissenschaften in der Gewinnung von Erkenntnissen bei Vorgängen im Bereich der belebten und unbelebten Natur. Das geschieht der Reihe nach durch Beobachten, Messen, Aufstellen von Gesetzen und Zusammenfassen der Gesetze zu Theorien.

Am Beginn dieser Methode steht die möglichst exakte Beobachtung. Neben der Beobachtung von Vorgängen in der Natur, die ohne menschliches Zutun ablaufen, werden seit Galilei die Naturvorgänge künstlich und planmäßig hervorgerufen. Solche Experimente sind für die Gewinnung oder Bestätigung von Erkenntnissen unentbehrlich. Der zu beobachtende Vorgang wird zunächst idealisiert, störende Begleitumstände werden ferngehalten, das ist allerdings schon ein Unsicherheitsfaktor. Dann wird eine Arbeitshypothese aufgestellt, damit die Frage an die Natur sinnvoll wird. Ein vermuteter Zusammenhang zweier Größen, wird genügend genau beobachtet und gemessen.

Die Auswertung der Messergebnisse ergibt für einen bestimmten Bereich Zusammenhänge, die man durch eine möglichst anschauliche Vorstellung oder eine mathematische Formel zu beschreiben versucht. Schließlich wird von der gewonnenen Vorstellung / Formel angenommen, dass sie auch an anderen Orten und zu anderen Zeiten gültig ist. Auch diese Allgemeingültigkeit der Gesetze ist unsicher.

Eine Theorie fasst nun möglichst viele Gesetze unter einem übergeordneten Gesichtspunkt zusammen. Es wird dann geprüft, ob sich diese Theorie mit allen sich aus ihr ergebenden Konsequenzen bewährt. Solche Theorien sind keine willkürlichen oder durch reines Denken gewonnene Festlegungen, sondern sie sind stets an der Erfahrung orientiert. Ihre Grundlage ist die experimentelle Erfahrung. Eine beobachtete Tatsache, die mit der Theorie nicht übereinstimmt, kann diese zu Fall bringen. (Falsifizierbarkeit)

1.2. Realitätsebene und Modellebene.

Die in 1.1. beschriebene Methode lässt sich auf folgende Weise veranschaulichen.

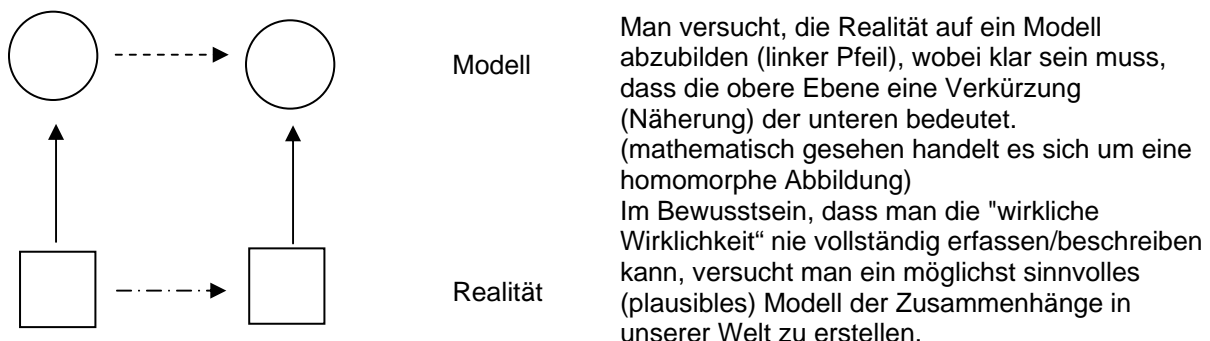


Abb.1 Realitäts- u. Modellebene

Wichtig dabei ist, dass auch der rechte Pfeil nach oben geht. Das bedeutet, dass Folgerungen aus diesem Modell wieder an der Realität überprüft werden müssen und man nicht a priori erwarten kann, dass sich die Realität nach unseren Theorien richtet.

Anders formuliert:

Nachdem die ursprüngliche Abbildung (linker Pfeil) nur eine Näherung der Realität ist, ist in der oberen Ebene weniger Information enthalten, als in der unteren. Dieses Erkenntnis ist wichtig, wenn man Theorien auf andere Bereiche ausweiten will, ein Problem, das an späterer Stelle noch behandelt werden muss.

2. Evolutionstheorien.¹

2.1 Die lamarckistische Theorie - Überblick

- a) Die Umwelt stellt bestimmte Anforderungen an Lebewesen (Selektionsdruck).
- b) Wenn Lebewesen nicht aussterben wollen, so müssen sie sich an die Umwelt anpassen (nach Lamarck haben alle Lebewesen einen inneren Drang zur Perfektion und Komplexität).
- c) Diese Anpassung erfolgt, indem sie bestimmte Organe (z.B. Grabschaufeln bei Maulwürfen, lange Hälse bei Giraffen) häufiger gebrauchen, als andere Organe.
- d) Dieser Gebrauch oder Nichtgebrauch von Organen führt schließlich zu einer Weiterentwicklung bzw. Rückentwicklung dieser Organe (bei Höhlenfischen bilden sich z.B. die nicht benötigten Augen zurück).
- e) Diese durch Gebrauch bzw. Nichtgebrauch erzielten Veränderungen der Organe können an die Nachkommen weitervererbt werden, so dass im Laufe der Generationen bestimmte Organe immer perfekter, anderer immer stärker zurückgebildet werden.

2.2 Die darwinistische Theorie - Überblick

- a) Lebewesen produzieren wesentlich mehr Nachkommen, als für die Erhaltung der Art eigentlich notwendig wäre.
- b) Da die Ressourcen der Umwelt begrenzt sind, können nicht alle Nachkommen überleben.
- c) Die Lebewesen einer Population unterscheiden sich voneinander, manche sind gut an die Umwelt angepasst, andere nicht so gut: Variabilität. (Nur die gut an die Umwelt angepassten Nachkommen haben eine Chance, zu überleben: Natürliche Auslese, Selektion)
- d) Die Anpassung an die Umwelt ist zum großen Teil genetisch bedingt, so dass die positiven Eigenschaften an die Nachkommen übergeben werden können. (Im Laufe der Zeit kommt es zu einer immer perfekteren Anpassung der Lebewesen an die Umweltverhältnisse: Evolution).

¹ <http://www.drd.de/helmich/>

2.3 Populationsgenetik

2.3.1. Fitness

Unter dem Begriff Fitness versteht man in der Evolutionsbiologie die Zahl der Nachkommen, die ein bestimmtes Lebewesen hat, in Relation zur maximalen Nachkommenzahl, die bei der betrachteten Art überhaupt möglich ist. Fitness hat also nichts zu tun mit dem umgangssprachlichen Gebrauch des Wortes im Sinne von „Wohlfühlen“ oder „Fit oder gesund sein für irgendetwas“.

2.3.2. Die Fitness eines einzelnen Tieres

Angenommen, eine Wölfin kann maximal 9 Junge pro Wurf bekommen und weiter angenommen, sie kann maximal zweimal pro Jahr werfen, so beträgt die maximale Nachkommenzahl bei Wölfen 18.

Wirft eine Wölfin im Jahr 12 Junge, so ist die Fitness F dieses Tieres ist $12/18 = 0,667$.

Der Fitnesswert eines Individuums liegt also zwischen 0 und 1.

2.3.3. Die Fitness einer Population

Angenommen, eine Wolfspopulation umfasst 100 Individuen, die auf verschiedene, miteinander konkurrierende Rudel aufgeteilt sind. Jedes dieser 100 Tiere hat eine bestimmte Fitness. Die Populationsfitness W ist dann die durchschnittliche Fitness aller Individuen einer Population.

Sie liegt ebenfalls zwischen 0 und 1.

2.3.4. Fitness und Genotyp

Angenommen, die Fitness eines Individuums hänge nur von 1 Gen mit 2 Allelen A, B ab. Dies ist natürlich eine völlig abstrakte Vorstellung. In Wirklichkeit wird die Fitness von vielen Genen und natürlich auch von der Umwelt abhängen. Die Fitness eines einzelnen Tieres unterscheidet sich durch folgende drei Genotypen: $F(AA) = 0.7$, $F(AB) = 1.0$, $F(BB) = 0.6$. Angenommen, eine Tierpopulation von 100 Tieren bestehe aus 30 Vertretern des Genotyps AA, 50 Vertretern von AB und 20 Vertretern von BB. Für die Populationsfitness folgt: $W = [30 * F(AA) + 50 * F(AB) + 20 * F(BB)] / 100 = 0,83$.

Insgesamt gilt: Die Genotypfitness ist die durchschnittliche Fitness aller Individuen mit einem bestimmten Genotyp.

Es stellt sich die Frage, wie diese Population ihre Fitness maximieren kann, und welche Allele dazu verändert werden müssen.

2.3.5. Allelfrequenzen

Unter der Allelfrequenz man die Häufigkeit, mit der ein bestimmtes Allel in einer Population vorkommt. Für die Beispielpopulation gilt für Allel A:

Die 30 AA-Individuen besitzen zusammen 60 Exemplare dieses Allels, außerdem kommen in den 50 AB-Individuen noch einmal 50 Exemplare des A-Allels vor, das sind zusammen also 110 Exemplare.

Das B-Allel kommt insgesamt 90-mal in der Population vor: 40-mal in den 20 BB-Individuen, und 50-mal in den 50 AB-Individuen. Unter der Frequenz der Allele versteht man nun ihre relative Häufigkeit.

Es gilt $p(A) = p = 0,55$ und $p(B) = q = 0,45$.

2.3.6. Zusammenhang zwischen Populationsfitness und Allelfrequenz.

Damit ein diploider Genotyp wie AA zustande kommt, müssen bei der Befruchtung eine Samenzelle mit einem A-Allel und eine Eizelle mit dem A-Allel aufeinander treffen. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine A-Samenzelle auf eine A-Eizelle trifft, ist somit p^2 . Entsprechendes gilt für die anderen beiden Genotypen.

Seien nun p und q die Allelfrequenzen von A und B mit $p + q = 1$.

Die Populationsfitness ergibt sich somit aus $W(p) = p^2 * F(AA) + 2p(1-p) * F(AB) + (1-p)^2 * F(BB)$.

2.3.7. Adaptive Landschaften

Veranschaulicht man $W(p)$ als Funktion in einem kartesischen Koordinatensystem so erhält man folgenden Verlauf (Abb.2). Die Fitness der Population ist dann am größten, wenn das Allel p einen Anteil von knapp 60% hat.

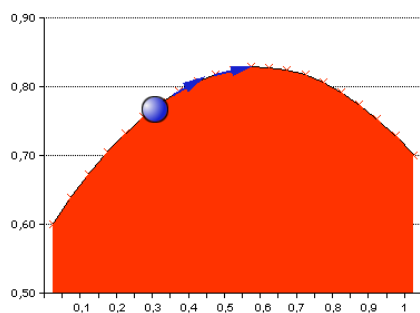


Abb.2 $W(p)$ vs. p
unimodale Verteilung

Sollte in der konkreten Population das Allel p nur einen Anteil von 30% haben, so kann die Population ihre Fitness steigern, indem sie im Lauf der nächsten Generationen versucht, die Frequenz des Allels p auf einen optimalen Wert zu erhöhen.

Ändert man die Startwerte der Fitness folgendermaßen ab, dass $F(AA) = 0.9$, $F(AB) = 0.5$, $F(BB) = 0.8$, erhält man folgende Graphik (Abb.3)

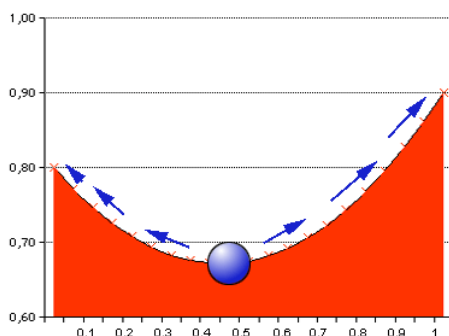


Abb.3 $W(p)$ vs. p
bimodale Verteilung

Eine Verbesserung der Fitness kann nun in zwei verschiedene Richtungen erfolgen, allerdings erreicht die Fitness nur auf dem rechten Weg ein globales Maximum.

Hängt die Fitness nicht nur von einem Gen ab, so erhält man mehrdimensionale Landschaften mit Bergen und Tälern.

Eine Population strebt in der adaptiven Landschaft stets einen Gipfel an, um ihre Populationsfitness zu erhöhen. Bei mehrgipfeligen Landschaften stehen einer Population mehrere Evolutionswege offen, es kann sogar zu einer divergierenden

(spaltenden) Evolution kommen, bei der Teilpopulationen verschiedene Gipfel besetzen. Wenn eine Population einen anderen Gipfel erreichen will, so muss sie vorher ein adaptives Tal durchwandern, was mit einer vorübergehenden Verschlechterung der Populationsfitness verbunden ist.

2.4 Die modernen Evolutionstheorien

In der Molekularbiologie hat man heute sehr gute Modelle, wie der Weg vom Gen zum Merkmal erfolgt, wenn auch einige Details noch unerforscht sind. Es erscheint klar, wie Mutationen erfolgen, mit welcher Häufigkeit Mutationen vorkommen und auf welche Weise Rekombinationen erfolgen (Stichwort: „crossing-over“). Diese Vorgänge werden im Moment nicht weiter untersucht.

3.Optimierungsprobleme.

Unter einem Optimierungsproblem versteht man (in der Regel) ein mathematisches Problem, das durch einen Suchraum, eine Bewertungsfunktion (die jedem Lösungskandidaten einen Gütwert zuweist) und eine Vergleichsrelation (kleiner – größer bzw. besser Güte – schlechtere Güte) gegeben ist. Besondere Bedeutung haben kombinatorische Optimierungsprobleme. Dies sind in der Regel Probleme mit diskreten und endlichen Strukturen, deren Problem dadurch besteht, dass der Suchraum sehr groß ist. Es besteht also kein prinzipielles theoretisches Problem, Lösungen zu finden – man scheitert im Allgemeinen am enormen Bedarf von Ressourcen, da das Überprüfen aller Möglichkeiten extrem viel Zeit benötigt, sodass eine praktische Durchführung der Optimierung schwierig bis unmöglich sein kann. Von Interesse ist die Darstellung des Suchraums in Abhängigkeit von der Güte der einzelnen Elemente des Suchraums. Die Analogie zur adaptiven Fitnesslandschaft der Evolution soll im folgenden Abschnitt behandelt werden.

4. Übertragung der Populationsgenetik auf Optimierungsprobleme.

4.1.Grundlegende Problematik von Übertragungen

Wie schon erwähnt, scheint es nahe liegend, die ähnliche Repräsentationsmöglichkeit von Allelfrequenzen und Optimierungsproblemen durch adaptive Fitnesslandschaften zu benutzen, um möglicherweise Strategien zur Lösung von Optimierungsproblemen durch geeignete Repräsentation dieser Probleme und Abbildung auf genetische Prozesse zu finden. Die Anwendung dieser Strategie führt zu so genannten evolutionären Algorithmen. Dabei muss man sich aber grundsätzliche Gedanken über die wissenschaftstheoretischen Hintergründe dieser Vorgangsweise machen.

Wie in Abschnitt 1. erläutert, stellen alle naturwissenschaftlichen Theorien (zu denen Evolutionstheorien ohne Zweifel zählen) per definitionem Verkürzungen der Realität dar. Aussagen wie: „...das funktioniert genauso, wie in der Evolution...“ sind deshalb mit Vorsicht zu behandeln. Im Grunde genommen geschieht folgendes:

Beim Versuch, die Realität zu beschreiben, werden Modelle entwickelt, die im Einklang mit bisher durchgeführten Experimenten stehen und deshalb als gute

Annäherung an die Realität gelten können. Anschließend werden allerdings diese Modelle als neue Referenz betrachtet und auf andere Gebiete übertragen. Es ist unumgänglich, sich diesen Vorgang bewusst zu machen und es ist großer Wert auf exakte Formulierung zu legen. Evolutionäre Algorithmen funktionieren *nicht* wie die Evolution in der Natur, sie funktionieren so, wie es in jenem *Modell* beschrieben wird, das die Vorgänge im Moment in geeigneter Weise beschreibt. Nur so ist es möglich, sich vom Modell zu lösen und spezifische Probleme im neuen Umfeld (hier die Optimierung) zu erkennen. Ein sofort erkennbarer Unterschied zwischen natürlicher Evolution und evolutionären Strategien zur Lösung von Optimierungsproblemen ist, dass es bei der Optimierung – nomen est omen – Annäherungen an real überprüfbare optimale Lösungen gibt (Abbruchkriterien), die bei der natürlichen Evolution in dieser Form nicht vorhanden sind.

Sinnvoll erscheint die Trennung zwischen dem Begriff der Evolution und den unterschiedlichen Manifestierungen (biologische Evolution – Gene, kulturelle Evolution – Meme, evolutionär inspirierte Algorithmen – Elemente des Suchraums, etc).² Diese Unterscheidung sei implizit vorhanden, wenn im Weiteren von evolutionären Algorithmen die Rede ist.

Ein besonderes Problem von Übertragungen im beschriebenen Sinn sei noch erwähnt: Die Rückübertragung. Diese führt dann zu Aussagen wie: „... natürliche Evolution ist einfach erklärt – das funktioniert so, wie bei evolutionären Algorithmen...!“ Dieser Aspekt erscheint oberflächlich gesehen absurd, ist aber bei manchen Informationssystemen (sog. „Expertensystemen“) weit verbreitet.

4.2. Evolutionäre Algorithmen

Der Gedanke ist nun folgender: man versucht im Bereich der Optimierungsprobleme jene Elemente des Suchraums zu finden, die der exakten Lösung möglichst möglichst nahe kommen (optimal genug sind).

Der Begriff „Nähe“ ist hier problemabhängig. Zu diesem Zweck bewertet man die einzelnen Elemente des Suchraums mit einem Gütefaktor und beendet die Optimierung, wenn ein Element mit genügend hoher Güte gefunden ist. Denkt man sich die Elemente des Suchraums und die Gütewerte in einem (n+1-dimensionalen) kartesischen Koordinatensystem eingetragen, so erhält man eine n-dimensionale Fläche, die eine adaptive Fitnesslandschaft im Sinne von Abschnitt 2. darstellt.

Die Suche nach optimalen Lösungen entspricht der Suche nach Maxima („Berge“) in dieser Fitnesslandschaft. Es ist also nahe liegend, Vorgänge, die im oben beschriebenen Modell der natürlichen Evolution als Erklärung herangezogen werden (Mutation, Rekombination, Selektion) auf die Lösung von Optimierungsproblemen zu übertragen (unter Beachtung der in 5.1. beschriebenen Problematik).

Das Grundgerüst lässt sich als evolutionärer Zyklus darstellen (s. Abb.4)³

² Sören Blom, memetische Algorithmen - Ein Überblick, Seminar im Rahmen der Projektgruppe 431 Metaheuristiken, Lehrstuhl 11, Fachbereich Informatik, Universität Dortmund, April 2003.

³ zitiert bei Blom nach Karsten Weicker, Evolutionäre Algorithmen. B.G. Teubner, 1.Ausgabe, Mai 2002

Es wird an zwei Stellen selektiert: Die Paarungsselektion gibt Individuen mit besserer Fitness eine höhere Vermehrungswahrscheinlichkeit, bei der Umweltselektion werden Individuen entfernt, um Platz für neue Individuen zu schaffen. Dies ist notwendig, da die Gesamtzahl der betrachteten Individuen konstant bleibt (im Gegensatz zu anderen Evolutionsformen). Mutationen werden auf manche der Kind-Individuen angewandt, um ein gewisses Maß an Varianz zu garantieren.

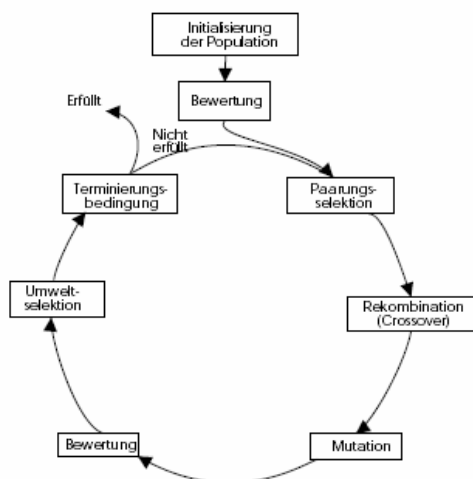


Abb.4
Evolution Zyklus

Dabei sind verschiedenste Dinge zu berücksichtigen (Wahl der Repräsentation, Wahl der Cross-Over Operatoren, Wahl der Mutationsoperatoren, Wahl der Initialisierungsmethode, etc.) auf die hier aber nicht weiter eingegangen wird.

Man erwartet sich durch diese Vorgangsweise eine rasche Verbesserung der Güte (Fitness) der gefundenen Elemente des Suchraums. Durch Rekombination und Mutation der Lösungen, können bei multimodalen Verteilungen auch die Gipfel gewechselt werden, was – wie in abschnitt 2 beschrieben – durch zwischenzeitliche Verschlechterungen der Güte erkauft wird. Der Wechsel von Gipfeln muss möglich sein, da man nicht nur an lokalen Maxima sondern am globalen Maximum der gesamten Landschaft interessiert ist.

4.3.Lokale Suche

Der im vorigen Abschnitt beschriebene Wechsel der Gipfel und die zu diesem Zweck notwendige Verschlechterung der Güte der Lösungen ist dadurch zu verbessern, indem man ausgehend von Startwerten direkt die lokalen Maxima aufsucht und erst anschließend diese Maxima als neue Initialpopulation betrachtet. Diese lokalen Maxima findet man durch lokale Suchverfahren (Suche in der näheren Umgebung im Suchraum). Für diese Suche sind vielfältige mathematische Verfahren bekannt (z.B. Gradientenaufstieg, etc.) Man kombiniert also diese lokale Suche mit der evolutionären Suche nach Abschnitt 5.2.

Ein Pseudocode für dieses Vorgehen könnte folgendermaßen aussehen:⁴

```
procedure MA;
begin
for j := 1 to popsize do
i := generateSolution();
i := Local-Search(i);
add individual i to P;
endfor;
repeat
for i := 1 to #recombinations do
select two parents ia; ib 2 P randomly;
ic := Recombine(ia; ib);
ic := Local-Search(ic);
add individual ic to P;
endfor;
for i := 1 to #mutations do
select an individual i 2 P randomly;
im := Mutate(i);
im := Local-Search(im);
add individual im to P;
endfor;
P := select(P);
if P converged then P := mutateAndLS(P);
until terminate=true;
end;
```

Es wird vor der Rekombination, Mutation und Selektion jeweils eine lokale Suche durchgeführt. Sie wird auf jedes Individuum angewandt, bevor es zur Population hinzugefügt wird. Die letzten Zeilen dienen als Diversifikationsmechanismus. Falls die Individuen in der Population zu ähnlich sind, wird das beste Individuum der Population beibehalten und alle anderen mutiert und dann lokal optimiert.

Ein zusätzlicher Aspekt ist von Bedeutung: Es ist möglich, die lokale Suche für jedes Individuum parallel auszuführen, da für eine Suche nur das Individuum benötigt wird.

5. Meme.

Der Begriff des Mems stammt ursprünglich von Richard Dawkins und wurde 1976 in der ersten Auflage seines Buches „The Selfish Gene“⁵ verwendet. „Beispiele für Meme sind Melodien, Gedanken, Schlagworte, Kleidermoden, die Art, Töpfe zu machen oder Bögen zu bauen.“ (S.309)

Betrachtet man das Phänomen der Kultur, so sieht man eine progressive Entwicklung, die durchaus Ähnlichkeiten mit der genetischen Evolution aufweisen kann. Ideen, Konzepte und Methoden werden übernommen und von Generation zu Generation weitergegeben und dabei weiterentwickelt. Dabei lassen sich Strömungen erkennen, Modetrends treten auf und verschwinden wieder, es bilden sich erkennbare Strukturen in einem Raum potentiell unendlicher Möglichkeiten. Kultur ist selbstorganisierend. Im Unterschied zur biologischen Evolution ist die kulturelle Evolution um Größenordnungen schneller. Die Weitergabe in der Kultur erfolgt nach Dawkins im weitesten Sinne durch Imitation.⁶

Der Begriff des Mems ist angelehnt an den griechischen Begriff „mimeme“ – Imitation.

⁴ Peter Merz, Memetic Algorithms for Combinatorial Optimization Problems, Dissertation, Universität Siegen, Dezember 2000.

⁵ als Grundlage wird hier die deutsche Übersetzung verwendet:

Richard Dawkins, Das egoistische Gen. Rowohlt Taschenbuch Verlag, Reinbeck bei Hamburg, 6.Auflage Jan 2004.

⁶ siehe Blom

In Analogie zur genetischen Vererbung können auch Meme „vererbt“ werden. Auch hier können die Begriffe der genetischen Evolution verwendet werden. Der Erfolg eines Mems (seine Fitness) ergibt sich aus seiner Verbreitung in der Kultur, wobei z.B. Meme, die einen Hang zu religiösem Verhalten verkörpern, in unseren Kulturen offensichtlich einen sehr hohen Grad von Fitness aufweisen. Auch für weitere genetische Begriffe können Analogien gefunden werden: Unter Mutationen versteht man hier Kopierfehler in der Weitergabe memetischen „Wissens“, die durch fehlerhafte Imitation oder mangelhafte Kommunikation entstehen. Auch die Rekombination von memetischen Einheiten zu neuem Wissen und neuen Theorien, als auch deren Selektion findet Platz in diesem Modell. Grundsätzlich geht es auch hier um einen Verdrängungswettbewerb – um einen Kampf der Ideen gegeneinander.

Wesentlich ist, dass Meme meistens nicht einfach so weitergegeben werden, wie sie selbst empfangen wurden. Sie werden vor der Weitergabe bearbeitet und weiterentwickelt. Diese Weiterverarbeitung ist dabei zielgerichtet, sie unterscheidet sich von Mutationen (Kopierfehlern) dadurch, dass dabei eine zufällige Veränderung (die eventuell sogar ein „sinnloses“ Mem konstruiert) weitgehend ausgeschlossen ist, weil der Träger des Mems seine Weiterentwicklung ständig überprüft und mit anderen Memen von anderen Trägern in seiner Umgebung (lokal) vergleicht. Diese Tatsache führt uns nun zum eigentlichen Kern dieser Betrachtung.

6. Memetische Algorithmen.

Im Grunde genommen versteht man unter einem memetischen Algorithmus die in Punkt 4.2. beschriebene Kombination zwischen evolutionärem Algorithmus und lokaler Suche. Allerdings sollte man die Wahl dieses Begriffs genauer untersuchen. Der Ausdruck „memetisch“ lässt sich einfach auf die im Abschnitt 5. beschriebene Tatsache, dass Meme vor der Weitergabe vom Träger bearbeitet und weiterentwickelt werden, zurückführen. Allerdings sollte beachtet werden, dass die Techniken der Rekombination, Mutation und Selektion der evolutionären Algorithmen als Analogie zu einer anderen Manifestation der Evolution (nämlich der genetischen) eingeführt wurden. (Die Übertragung des in einem ganz genau beschriebenen Modell verwendeten Begriffs des crossing-over auf das Konzept der Meme wäre ein grober Fehler im Sinne der in Abschnitt 1. ausgeführten Betrachtungen).

Somit ergibt sich durch den Begriff „memetischer Algorithmus“ folgendes Problem: Der Begriff täuscht eine Analogie zur memetischen Evolution vor, kann dieser Analogie allerdings im eigentlichen evolutionären Prozess nicht gerecht werden. Eigentlich suggeriert der Gedanke einen lamarckistischen Hintergrund – Fähigkeiten werden erworben und verbessert, anschließend durch Vererbung an die Nachkommen weitergegeben.

7. Weiterführende Gedanken.

Die hier angeführten Überlegungen sind nicht als Kritik an der Anwendung memetischer Algorithmen zur Lösung von Optimierungsproblemen zu verstehen. Auch hier gilt der in Punkt 1. geschilderte Umstand, dass Methoden im Experiment zu überprüfen sind und die Effizienz memetischer Algorithmen spricht für sich. Es soll allerdings der Blick für die begrifflichen Hintergründe geöffnet werden. Daraus könnten Möglichkeiten entstehen, weitere Optimierungen vorzunehmen. Ich unterstütze die Verwendung von Bloms Begriff der „evolutionär inspirierten Algorithmen“, da hier deutlich gemacht wird, dass evolutionäre Theorien ideenbringend eingesetzt werden, dabei aber nicht versucht wird, fertige Modelle zu übertragen. Dies lässt Raum, problemorientiert vorzugehen und auch andere Konzepte einzubinden. Ich denke dabei an begleitende Ordnungskriterien - als Beispiel sei die Maximierung der Entropie als physikalischer / thermodynamischer Begriff im Zusammenhang mit Simulated Annealing bei der lokalen Suche erwähnt. Auch gänzlich andere evolutionäre Ansätze (die hier nicht weiter behandelt wurden, da sie im Sinn von Abschnitt 1. nicht als gültige Theorien gelten können, wie zum Beispiel die Existenz evolutionärer „Felder“ und Kräfte in Analogie zu physikalischen Feldtheorien) könnten zur Modellierung von Algorithmen Verwendung finden.

Abschließend sei noch der Umstand angeführt, dass es sich bei memetischen Algorithmen selbst wieder um Meme handelt – eine Möglichkeit für weiterführende Diskussionen auf der Metaebene.