

2 Historische Entwicklung und die Anwendungsgebiete Genetischer Algorithmen

Die Welt ist voll von Optimierungsproblemen: Anfängen von der richtigen Einstellung einer Mikrowelle, um ein heißes aber nicht verkochtes Essen zu bekommen, bis hin zu komplexen Themen wie der anzustrebenden Lebensweise, um ein langes aber nicht übermäßig langweiliges Leben zu führen [4]. Eine Fülle unterschiedlicher Methoden kann zur Lösung dieser Fragestellungen herangezogen werden; GAs zählen dazu.

Bereits in den 50er Jahren gab es erste Überlegungen zur Konstruktion von Genetischen Algorithmen. Die Versuche, natürliche Evolutionsstrategien durch die Anwendung von Mutations-Techniken abzubilden, scheiterten jedoch. Erst als man erkannte, daß nicht die Mutation sondern die Kreuzung (Rekombination) von Individuen ausschlaggebend für die Weiterentwicklung von Populationen ist, konnten deutliche Fortschritte bei der Entwicklung Genetischer Algorithmen erzielt werden. *J. Holland*, seinen Mitarbeitern und Studenten, ist in den 60er Jahren die Nachahmung natürlicher Systeme erfolgreich gelungen. Ihre Arbeit hatte zwei Ziele: a) den adaptiven Prozeß natürlicher Systeme zu abstrahieren und genau zu beschreiben und b) darauf aufbauend, den Entwurf eines künstlichen Systems, das die wichtigsten Mechanismen natürlicher Systeme beinhaltet.

Biologische Systeme erreichen einen enormen Grad an Robustheit und Flexibilität. Merkmale wie Selbstheilung, Selbst-Anpassung und Reproduktion sind in natürlichen Systemen nichts Ungewöhnliches, in künstlichen Systemen sind sie dagegen nur spärlich vertreten¹.

Das Einsatzgebiet Genetischer Algorithmen umfaßt jede Art von Optimierungsaufgaben. Durch ihre hohe Adaptivität sind GAs in der Lage, eine einfache aber noch nicht optimierte Anfangslösung eines Problems in eine (in der Regel komplexere) bessere Lösung weiterzuentwickeln. Grundsätzlich ist es notwendig, daß jeder einzelnen Lösung (Chromosom) im Lösungsraum (das ist die Menge aller möglichen

¹Mit Ausnahme von Computer-Viren.

Lösungen) ein diskreter Wert zugeordnet werden kann, welche die Güte der Lösung beschreibt. Soll ein GA zum Beispiel die Zahl 12 „erraten“, und die Güte einer Lösung wird durch ihren Abstand zum Wert 12 ermittelt, so ist die Zahl 10 keine richtige Lösung, aber schon „sehr gut“, wohingegen die Lösung 1 „schlecht“, aber nicht falsch ist. Die Begriffe „richtig“ und „falsch“ sind für Lösungen aus GAs nicht vorgesehen. Es gibt nur relative Aussagen bezüglich der Fitness von Chromosomen.

An dem obigen Beispiel läßt sich noch ein weiterer wichtiger Aspekt Genetischer Algorithmen verdeutlichen: Die Wahl der richtigen Kodierung und damit der Darstellung (Repräsentanz) des Optimierungsproblems. Die oben angeführte Aussage ist nur korrekt, wenn die Zahlen auf einem Zahlenstrang liegen. Sind sie dagegen wie auf dem Zifferblatt einer Uhr in einem Kreis angeordnet, so ist 1 eine bessere Lösung als 10!

Die Wahl der richtigen Kodierung des Optimierungsproblems und die Festlegung einer geeigneten Fitnessfunktion sind die entscheidenden Kriterien für den Erfolg oder den Mißerfolg einer Optimierung auf Basis Genetischer Algorithmen.

Die Untersuchungen *J. Hollands* und seiner Mitarbeiter bedeuteten eine Initialzündung für die Verwendung künstlicher Systeme im Bereich von Optimierungsfragen. Genetische Algorithmen wurden und werden hier in einem weiten Umfeld eingesetzt. Die folgende Tabelle gibt einen zeitlichen Überblick über wesentliche Entwicklungen und Anwendungen Genetischer Algorithmen in den Jahren zwischen 1967 und 1987 wieder. Weitergehende Anwendungsbeispiele finden sich in [3, 5].

Tabelle 2.1: Wesentliche Entwicklungen und Anwendungen Genetischer Algorithmen zwischen 1967 und 1987 [3].

Jahr	Autor(en)	Inhalt
Biologie		
1967	Rosenberg	Simulation der Entwicklung einer Population von Einzellern
1984	Perry	Untersuchungen zur Niscentheorie und Spezialisierung mit GAs
1987	Sannier und Goodman	Adaption von GAs an Strukturen, welche die örtliche und zeitliche Verfügbarkeit von Nahrung wiedergeben
Informatik		
1979	Raghavean und Bichard	GA-basierte Cluster Algorithmen
1985	Rendell	GA-Suche nach Funktionen zum Testen von Spielen

Entwicklungen und Anwendungen Genetischer Algorithmen (Fortsetzung)

Jahr	Autor(en)	Inhalt
Ingenieurwissenschaften		
1983	Goldberg	Statische und transiente Optimierung von Gas-Pipelines mit GAs
1985	Davis	Binär-Komprimierung und Colorierung von Funktionsgraphen mit GAs
1987	Davis und Ritter	Seminarraumverteilung mit Simulated Annealing und Metalevel GAs
Bildbearbeitung und Mustererkennung		
1984	Fitzpatrick <i>et al.</i>	Bildererkennung mit GAs zur Minimierung von Bildunterschieden
Sozialwissenschaften		
1981	Smith und De Jong	Kalibration eines Bevölkerungs-Migrationsmodells auf Basis einer GA-Suche
1985	Axelrod	Simulation der Entwicklung von Verhaltensnormen mit GAs

Die Unterhaltungsindustrie hat Elemente Genetischer Algorithmen für Computerspiele entdeckt [6]. Das beste Beispiel stellt das Spiel *Creatures* der Firma Cyberlife (UK) dar, das in seiner ersten Version von *S. Grand* erdacht und programmiert wurde.

In den Grundzügen stellt das Spiel eine abgeschlossene Welt (Albian) dar, in der verschiedene Lebewesen miteinander interagieren. Zu nennen sind vor allem die Norns, die in der Kunstwelt von *Creatures* die komplexesten Lebewesen darstellen. Sie besitzen viele Merkmale, die für natürliches Leben unabdingbar sind: Stoffwechsel, Gene, Sensorik, ein Gehirn und die Möglichkeit zur Reproduktion. Die einzelnen Norns unterscheiden sich in einer Reihe ihrer phänotypischen Eigenschaften wie der Größe und Form ihrer Ohren, Farbe des Fells, etc.

Jeder Norn entwickelt sich im Laufe seines Lebens und lernt, sich seiner Umwelt anzupassen. Durch Kommunikation mit anderen Norns ist er in der Lage, Erfahrungen auszutauschen und in soziale Wechselwirkung zu treten. Genau wie bei einem Genetischen Algorithmus ist es möglich, daß Norns durch Reproduktion ihre genetisch kodierten kognitiven Fähigkeiten und phänotypischen



Abbildung 2.1: Ein „Norn“.

Eigenschaften an Kinder weitergeben. So entsteht im Laufe der Zeit eine Population künstlicher Lebewesen, die sich stetig weiterentwickelt.

Es existieren bereits Anwendungen für Weiterentwicklungen der Norns, die als „Agentensysteme“ bezeichnet werden: Die britische Royal Air Force setzt diese als gegnerische Kampfpiloten in Simulatoren ein. Ein Agentensystem, das einen Kampffjet fliegt, reagiert nicht so berechenbar wie ein herkömmlicher Flugsimulator. Dadurch wird die Effizienz der Simulatortrainings erhöht.

Auch im chemischen Anwendungsbereich kommen Genetische Algorithmen in zunehmendem Maße zum Einsatz. Einige der grundlegenden Arbeiten werden im folgenden kurz beschrieben:

- NMR–Pulsfolgen

Im Zusammenhang mit der Analyse komplexer Moleküle mit Hilfe hochauflösender NMR und beim NMR-Imaging wurden viele Überlegungen darüber angestellt, auf welchem Wege Spin–Systeme über ein breites Band von Frequenzen angeregt werden können. Das Problem besteht darin, daß in Fällen, in denen eine Annäherung durch Fourier–Transform–Beziehungen nicht ausreicht, die Berechnung der Pulssequenz, die ein bestimmtes Muster in der Frequenz–Domäne hervorruft, analytisch unmöglich ist. Neuronale Netze [7] und Simulated Annealing wurden eingesetzt, um adäquate Pulsfolgen zu generieren. Freeman und seine Mitarbeiter publizierten Untersuchungsergebnisse, bei denen Genetische Algorithmen sehr schnell zu akzeptablen Pulsfolgen führten[8–10].

- Wellenzahlselektion

C.B. Lucasius und *G. Kateman*[11] veröffentlichten absorptionsspektrometrische Untersuchungsergebnisse zur Auswahl eines optimalen Satzes von Wellenlängen zur Bestimmung einer Reihe von RNS Nucleotiden, wobei aus 36 Wellenlängen sechs oder sieben ausgewählt werden sollten. Dies führt zu ca. 10^{11} möglichen Kombinationen. Die Autoren beschreiben einen Genetischen Algorithmus, der nach etwa 30 Generationen mit einer Populationsgröße von 100 Strings reproduzierbar das Optimum fand.

- DNS–Konformationsanalyse

C.B. Lucasius und seine Mitarbeiter publizierten Arbeiten, die sich mit dem komplexen Problem der Konformationsanalyse von DNS–Teilsträngen befassen [12, 13]. In den Arbeiten wurden die Torsionswinkel in den einzelnen DNS–Segmenten durch Abstandsmaße zwischen Wasserstoffatomen kodiert. Auf diese Weise kann das theoretische, zweidimensionale Kern–Overhauser–Spektrum der DNS berechnet und mit experimentellen Daten verglichen werden.

Die Autoren vertraten in dieser Arbeit die Meinung, daß ein hybridisierter Genetischer Algorithmus, dem soviel Vorabinformation wie möglich über das zu untersuchende Problem zur Verfügung gestellt wird, bei der Anwendung auf reale Daten gute Ergebnisse erzielt.

- Chemische Verfahrenstechnik

Manchmal werden kleine Mengen teurer Chemikalien in sogenannten „Flowshops“ hergestellt. In den Flowshops wird eine Reihe von Reaktoren miteinander verbunden und Chemikalien werden zu bestimmten Zeiten und an bestimmten Stellen des Flowshops schubweise in den Prozeß gegeben. Am Ende des Flowshops werden die Produkte dann separiert. Für eine Produktserie gibt es verschiedene Möglichkeiten der Produktionsfolge (für N Produkte existieren $N!$ Möglichkeiten). Hier stellt sich die Frage, welche Produktionsfolge zu den kürzesten Verweilzeiten und der höchsten Produktivität der Anlage führt.

H.M. Cartwright und *G.F. Mott* [14] konnten in ihren Untersuchungen nachweisen, daß Genetische Algorithmen in der Lage sind, dieses Optimierungsproblem bis zu 1800 mal schneller zu lösen als andere Verfahren.

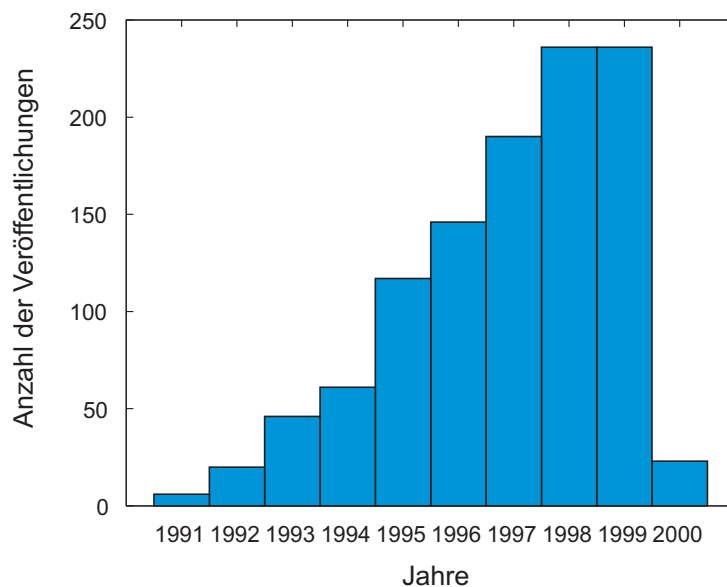


Abbildung 2.2: Zahl der Veröffentlichungen zur Anwendung Genetischer Algorithmen in der Chemie, 1991 bis März 2000. Quelle: CAS.

Genetische Algorithmen wecken im Bereich der Chemischen Forschung zunehmendes Interesse. Dies spiegelt sich in der steigenden Anzahl von Publikationen in den letzten Jahren wieder (s. Abb. 2.2).