

# Evolutionstrategien – Einfache Modelle natürlicher Prozesse?

Frank Kursawe

Fachbereich Informatik, Lehrstuhl für Systemanalyse, 44221 Dortmund

## 1 EINLEITUNG

Angenommen, man steht vor folgendem Problem: Gemäß eines gegebenen Qualitätskriteriums (Zielfunktion  $f : M \subseteq M_1 \times \dots \times M_n \rightarrow \mathbb{R}$ , Modell) sucht man eine solche Einstellung der Parameter (Inputs, „Regler“ in Abbildung 1), daß der Output einen möglichst guten oder sogar optimalen Wert annimmt. Oder kurz:  $f(\vec{x}) \rightarrow \max, \vec{x} \in M$ .

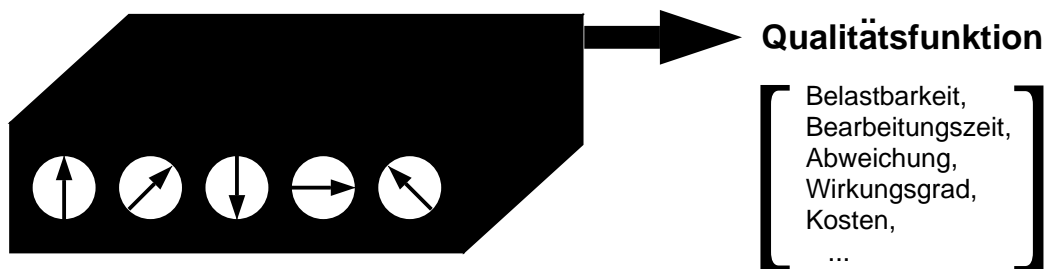


Abbildung 1: Das „Black Box“-Modell der Optimierung

Und wo liegt das Problem? Die Zahl  $N$  der Möglichkeiten ist schon für ein kleines  $n$  — die Anzahl von Reglern — zu groß, um den Raum der Lösungen vollständig zu durchmustern und sich dabei die beste aufgetretene Lösung zu merken. Genauer gesagt,  $N$  wächst exponentiell in  $n$  ( $N \sim c^n$ ). Menschliche Intuition hilft bei nichtlinearen Zusammenhängen in der Black Box auch nicht weiter: Bei einem Experiment waren 11 von 12 Studenten nicht in der Lage, nur 3 Regler so einzustellen, daß der Output optimal war. Reale Probleme besitzen leicht eine Parameterzahl jenseits von 100. Natürlich haben sich Generationen von Mathematikern darüber Gedanken gemacht und das Werkzeug der Analysis entwickelt, das genau dann anwendbar ist, falls die Zielfunktion erstens in einer geschlossenen Form aufschreibbar und zweitens stetig differenzierbar ist. Sind diese Voraussetzungen nicht gegeben und weiß man, daß die Topologie des zu lösenden Problems so „glatt“ (unimodal) ist wie in Abbildung 2 (links), wäre auch das kein Problem: Man müßte nur von einem beliebigen Startpunkt aus ein iteratives numerisches Verfahren ständig bergauf laufen lassen, bis es nicht mehr weiter geht. Reale Probleme sind aber meist multimodal, d. h. sie weisen eine Topologie auf

wie sie Abbildung 2 (rechts) darstellt. Das gerade beschriebene „Bergsteigen“ wird dann im allgemeinen nur zu einem lokalen, nicht globalen Optimum führen. Ferner sorgen bei technischen Problemen oft Restriktionen für zusätzliche Schwierigkeiten, indem sie das Gebirge mit „verbotenen Zonen“ versehen und so den Lösungsraum ggf. zerstückeln.

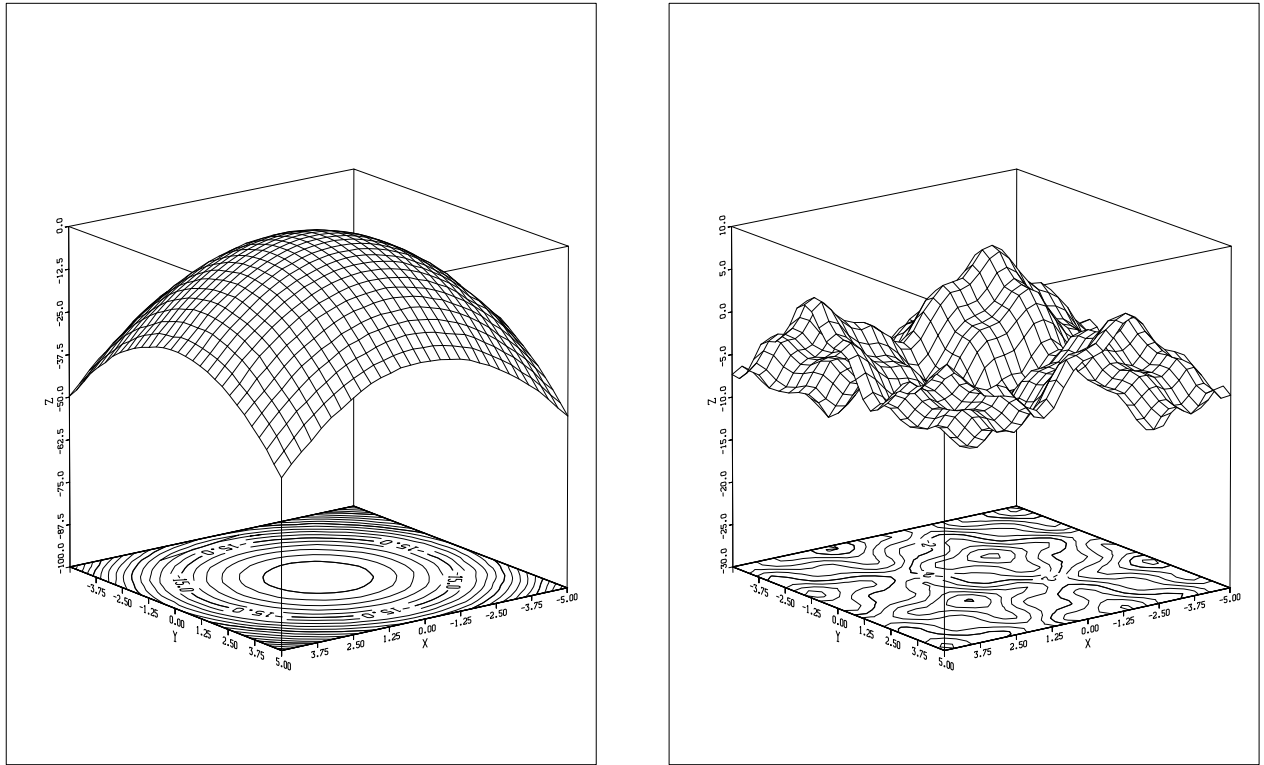


Abbildung 2: Zielfunktionstopologien

Als Konsequenz kann man heute beobachten, daß entweder gar nicht optimiert wird oder aber die komplexen realen Zusammenhänge so vereinfacht werden, daß die üblichen iterativen Verfahren anwendbar sind. Das wohl bekannteste Optimierverfahren — die Simplex-Methode von Dantzig — unterstellt lineare Zusammenhänge, liefert dafür aber sehr schnell das Ergebnis. Dummerweise stellen aber lineare Zusammenhänge in unserer Umwelt seltene Ausnahmen dar, so daß zwar die Optimierung effizient ist, aber das mathematische Abbild, die Zielfunktion, nicht mehr viel mit dem Urbild, der Realität, zu tun hat. Warum soll man sich schon in der Phase der Modellbildung der normativen Kraft des Optimierbaren unterwerfen, wo es doch Verfahren gibt, die zwar mehr Rechenzeit verbrauchen, dafür aber nur ganz geringe Forderungen (s.u.) an das Innere der Black Box stellen?

Die von Rechenberg und Schwefel gemeinsam entwickelten *Evolutionstrategien* [1, 2] gleichen einem Experimentator, der ein Objekt, über das er im Extremfall nichts weiß, anhand endlich vieler externer Regler in einen optimalen Zustand bringen möchte. Alles, was dazu aus der Box herauskommen muß, ist ein Qualitätsmaß, so daß eine Veränderung der Einstellungen wenigstens durch „besser“ oder „schlechter“ klassifiziert werden kann. Warum Rechenberg und Schwefel sich ausgerechnet an der organischen Evolution orientiert haben

und wie die Strategien funktionieren, hat Frank Brand in der THESE 5 bereits beschrieben, so daß im folgenden nicht mehr die Problemlösungsfähigkeit im Vordergrund stehen wird, sondern die (zugegebenermaßen spekulative) Interpretation von Verhaltensweisen der von Schwefel entwickelten mehrgliedrigen Strategie, bei der eine Population sich auf die Suche nach dem globalen Optimum macht.

## 2 ÜBERTRAGUNG DER BEOBACHTUNGEN AUF DIE ...

### 2.1 ... BIOLOGIE

Die überall beobachtbare endliche Lebensdauer stellt kein Versagen der Natur dar, sondern ist ein Mechanismus, um einer Art die Anpassung an wechselnde Umweltbedingungen zu ermöglichen. Nur eine Komma-Strategie, die eine Elterngeneration nach genau einem Reproduktionszyklus verwirft, kann einem wandernden Optimum folgen, während eine Plus-Strategie, die an einmal gefundenen „guten“ Phänotypen festhält, versagt.

Polyploidie (mehrfache Chromosomensätze) lohnt sich in einer konstanten Umwelt nicht, während sie in einer sich ändernden Umwelt sogar nötig ist. Für bestimmte Pflanzen gilt im nacheiszeitlichen Europa sogar: Polyploidiegrad = Breitengrad. Dieses Phänomen läßt sich in Evolutionsstrategien wie folgt reproduzieren: Die Optimierung mit nur einer Zielfunktion entspricht aus der Sicht eines Individuums einer konstanten Umwelt, in der jeder zusätzliche Chromosomensatz Ballast wäre. Modifiziert man die Selektionskomponente der Strategie jedoch geringfügig, so kann man auch Probleme mit mehrfacher Zielsetzung lösen. Dabei unterliegt dann allerdings die Umwelt aus der Sicht eines Individuums recht drastischen Änderungen, da jeweils eine andere Zielfunktion als Selektionskriterium „ausgewürfelt“ wird, so daß hier polyploide Wesen vorteilhaft sind.

Die „Erfindung“ der sexuellen Rekombination kann nachvollzogen werden: Insbesondere in Gebirgen wie in Abbildung 2 (rechts) erweist sich die Rekombination des vorhandenen genetischen Materials, d. h. der Informationsaustausch zwischen Individuen als notwendig, um das globale Optimum zu finden.

### 2.2 ... ORGANISATIONSPSYCHOLOGIE

Darwins Annahme, daß eine Art nur überlebt, falls sie sich ihrer Umwelt anpassen kann, hat auch Psychologen inspiriert, die sich mit der Organisationsstruktur von Unternehmen beschäftigen. Warum sollte genau *eine* Organisationsstruktur, die noch dazu über der Zeit konstant gehalten wird, hinreichend für diverse Anforderungen einer sich ständig ändernden Umwelt sein? Aus Studien über Kommunikationsnetze weiß man, daß zentralistisch organisierte Netze (ein „Führer“, viele „Geführte“) bei einfachen Aufgaben leistungsfähiger sind als dezentrale. Bei komplexen Aufgaben verhält es sich jedoch genau umgekehrt. Hier sind dezentrale Netze angemessener. Formale Hierarchien in Firmen stehen der problemangepaßten Gruppenbildung aber normalerweise im Wege. Dieser situative oder Kontingenzansatz hat ferner festgestellt, daß bürokratische Organisationsformen in statischen Umgebungen florieren, während in dynamischen Umwelten eher die interne Flexibilität „organischer“ Organisationen benötigt wird, die sich auf gut ausgebildete und selbständig agierende Mitarbeiter stützen. Hier treffen sich also die Ideen der Organisationspsychologen mit denen der „evolutionären“ Manager, die ein Unternehmen als lernendes System betrachten, in dem die Information das Kapital als Schlüsselressource abzulösen beginnt, in dem eine dezentrale

Selbstorganisation die zentrale Weisungskultur ersetzt und die Zukunft eines Unternehmens auch davon abhängt, wie gut man mit der Konkurrenz zusammenarbeitet.

In diesen Rahmen passen auch die Modebegriffe *lean management* und *lean production*, deren Grundidee ebenfalls flachere Hierarchien sowie die Integration von Aufgaben und Verantwortung ist. Allerdings werden diese Begriffe speziell in Deutschland als Rechtfertigung für Entlassungen und „Gesundshrumpfen“ verwendet. Dies kann kurzfristig sicher die Effizienz erhöhen, wird aber auf längere Sicht die Anpassungsfähigkeit eines Unternehmens einengen, wenn man dem alten kybernetischen Postulat der *requisite variety* glaubt, welches verlangt, daß die interne Diversität jedes Systems der Komplexität seiner Umwelt entsprechen muß, um deren Veränderungen adäquat verarbeiten zu können.

In Evolutionsstrategien läßt sich dieses Verhalten wie folgt nachbilden: In einer anspruchlosen Umwelt wie der in Abbildung 2 (links) reicht es, wenn man eine kleine Population mit harter Selektion auf die Suche schickt. Will man jedoch das globale Optimum in der rechten Topologie finden, muß man mit einer großen Population und weicher Selektion arbeiten. Fehlt diese Redundanz, konvergiert das Verfahren weit ab vom globalen Optimum. Dies passiert auch, wenn man zwar eine hinreichend große Population mit weicher Selektion benutzt, aber die Rekombination ausschaltet, so daß die Individuen als Einzelkämpfer durch das Gebirge laufen. Erst die Rekombination als Austauschoperator für Wissen ermöglicht die Beobachtung von synergistischen Lerneffekten: In der künstlichen mathematischen Umwelt auf dem Rechner ist es möglich, für bestimmte Zielfunktionen den schnellsten Weg zum „Gipfel“ analytisch zu berechnen und eine Population mit diesem perfekten Wissen über ihre Umwelt auszustatten. Bei einer solchen Vorgehensweise verliert die Rekombination natürlich ihre Bedeutung, weil alle Individuen ständig über vollständige Information verfügen. Interessant ist aber der Vergleich mit einer Strategie, die ohne Vorwissen startet und sich das Wissen über ihre Umwelt selbst beschafft. Diese Population von „Dummen“ erreicht als Kollektiv, also mit Rekombination, fast genauso schnell den Gipfel wie die „Experten“.

### 2.3 . . . VOLKSWIRTSCHAFTSLEHRE

Die Lehre von der *Synergie* versucht, entstehende beobachtbare Ordnung aus dem jeweiligen System selbst heraus (endogen) zu erklären. In der Ökonomie hat Adam Smith mit der *invisible hand* bereits sehr früh die Idee sich selbst organisierender Märkte vermittelt, in denen individuelle Entscheidungen zur Bildung von Strukturen führen können. Allerdings hat sich das Interesse der Ökonomen zwischenzeitlich auf die Analyse von Marktgleichgewichten konzentriert bzw. die statisch-komparative Analyse der Änderung von Systemvariablen, wenn sich exogene Einflüsse ändern. Erst seit einigen Jahren versuchen die Anhänger einer *evolutorischen Ökonomik*, der Neoklassik mit ihren individualistischen Nutzenmaximierungsansätzen und den an der klassischen Mechanik orientierten Gleichgewichtskonzepten eine konzeptionelle Alternative mit der Biologie als Leitbild entgegenzustellen. Dieser neue Ansatz konzentriert sich zunächst auf eine Theorie der Entstehung und Diffusion von Innovationen, da dies eine Schwachstelle der Neoklassik ist: Einem Wirtschaftssubjekt sind nicht mehr alle für die Entscheidung relevanten Alternativen vorgegeben, sondern es generiert sich mittels seiner Vorstellungskraft viele dieser Möglichkeiten selbst. Die der evolutorischen Ökonomik zugrundeliegende Annahme, daß alles vernetzt ist und ständig Verhaltensrevisionen im Zuge von Lernprozessen stattfinden — Lernen jetzt nicht mehr als Anpassung an ein

Gleichgewicht, sondern als Entdecken neuer Handlungsmöglichkeiten — ermöglicht gerade eine weitgehende Endogenisierung der entsprechenden Modelle.

Statt ein Konzept wie das der *bounded rationality* einzuführen, das die idealistischen Annahmen intentionaler Individuen zu überwinden sucht, könnte man individuelles Verhalten auch (rein deskriptiv!) stochastisch beschreiben. Existiert zusätzlich ein Selektionsschritt (eine Externalität), kann trotz des stochastischen „Motors“ auf der Mikroebene langfristig eine Ordnung auf der Makroebene entstehen. Auch dieses Verhalten läßt sich an Evolutionsstrategien beobachten. Stagnationsphasen und Phasen schneller Wandels entstehen ohne äußere Einflußnahme — ein Phänomen, das die Biologen als *punctuated equilibria* bezeichnen.

## Literatur

- [1] I. RECHENBERG, *Evolutionstrategie: Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution*, Frommann–Holzboog, Stuttgart, 1973.
- [2] H.-P. SCHWEFEL, *Numerische Optimierung von Computer–Modellen mittels der Evolutionsstrategie*, Birkhäuser, Basel, 1977.