

Optimierung in der Produktentwicklung

Von Walen, essentiellen Modellen und genetischen Algorithmen

Das Feld der Produktentwicklung untersucht Vorgehensmodelle zur Befriedigung menschlicher Bedürfnisse. Nach der Klärung der Anforderungslage werden die vorhandenen Probleme auf realisierbare Teilaufgaben heruntergebrochen und mit bestehenden Wirkprinzipien gelöst: im technischen Alltag mögen dies Antriebe sein wie Elektromagneten, hydraulische Zylinder oder Verbrennungskraftmaschinen. Genau so lassen sich aber auch in der Medizin Therapien, Operationen und Medikamentengaben als Prinzipien zur Problemlösung ansehen, oder Förderungen und Steuern als Mechanismen in der Politik. Gemein ist allen Prinzipien, dass sie nur gewisse Funktionen erfüllen können und dabei zumeist auch neue Probleme und Nachteile mit sich bringen.

Designparameter, funktionelle Anforderungen, Design Map

Um die positiven und negativen Effekte auszubalancieren, existieren eigentlich immer Designparameter (DP), quasi Stellschrauben, die eine Anpassung des Wirkprinzips an die Aufgabenstellung ermöglichen. Bei einem Medikament kann dies zum Beispiel die Häufigkeit und Einnahmemenge sein, aber genauso die Kombination mit weiteren Präparaten. Die Güte einer Lösung (gewählte Wirkprinzipien und Designparameter) wird bewertet durch Abgleich des Istzustandes mit den Erwartungen an die Lösung, beschrieben in funktionellen Anforderungen (FA). Um den zu erwartenden Erfolg zu maximieren, ist natürlich angestrebt die gesammelten FA's zu optimieren, ihre Summe zu maximieren oder zumindest nicht unter eine erwünschte Güte fallen zu lassen.

Die Zusammenhänge zwischen DP und FAs, beschrieben in der Design Map (siehe Abbildung 1), ergeben sich zwar unmittelbar aus der Wahl der Wirkprinzipien und deren Konfiguration, sind aber nicht ohne weiteres auch klar anschreibbar. Komplexe Systeme zeichnen sich durch eine Vielzahl von Teilsystemen oder einer großen Menge von Interaktionen aus.

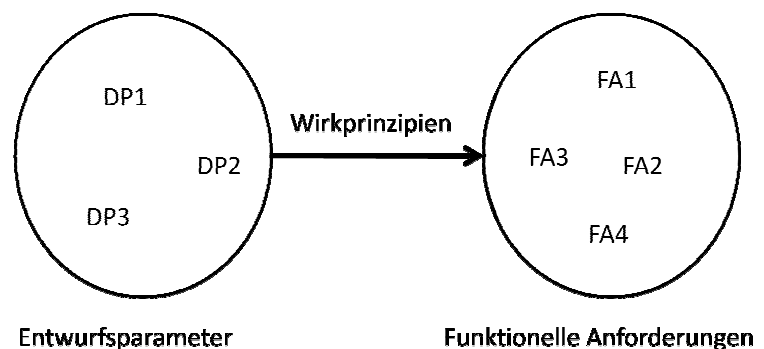


Abbildung 1: Design Map

Wird das Verhalten des Finanzmarktes erforscht und gelangt dieses Wissen zur Anwendung im gleichen Markt, beispielsweise durch gezielte Spekulation, so verändert diese Rückkopplung das Verhalten derart, dass die Forschungsergebnisse eigentlich wieder zu Nichte gemacht werden. Bei Medikamenten ist die Fülle an Produkten zu groß, um jedwede Kombination auf erwünschte und unerwünschte Nebenwirkungen testen zu können. In der Entwicklung technischer Produkte schließlich ergeben sich durch das fortschreitende Integrieren und Verzahnen, mit dem Ziel Platz zu sparen, immer stärkere und schwerer beschreibbare Interaktionen.

Essentielle Modelle

Natürlich ist dies nicht das Ende des Referatsberichts, denn dem Menschen sind die Fähigkeiten zum Modellbilden und zur Abstraktion gegeben. Nach Stachowiak ist ein Modell ein Stellvertreter, der für einen gewissen Zweck relevante Eigenschaften des Originals abbildet und daraus Rückschlüsse auf andere Eigenschaften des Originals erlaubt. Mit

Näherungen, Faustformeln, schöner: "essentiellen Modellen" lassen sich diese auch mathematisch oder anderweitig exakt abbilden.

Im Referat wurde dies an Walen illustriert. Mit einigen Annahmen über die Zusammensetzung von Walen und der erzeugbaren Leistung in ihren Muskeln, lässt sich für beliebige Walgattungen ihre erreichbare Höchstgeschwindigkeit vorraussagen. Bei Interesse finden sich die Abschätzungen im Anhang. Die mathematische Optimierung eines Wales für eine bestimmte Nahrungsart (Blauwale fressen Krill in mäßiger Tiefe, Pottwale bevorzugen Oktopusse in eher großer Tiefe) scheiterte in der Vorbereitung des Vortrages aber relativ schnell wieder an der Vielzahl von Möglichkeiten sowie fehlenden Modellen.

Herausfordernde Optimierung

Sobald allerdings mathematische Modelle zur Ermittlung der FA's aus den DP's vorlegen, so ist mit dem existierenden Methodenapparat zur Optimierung schnell eine Lösung gefunden. Würde man sich zumindest wünschen. Die Methode des „Erratens einer Lösung“ erfährt ungebrochene Beliebtheit, da man mit Bauchgefühl und Erfahrung oft ein taugliches Produkt entwickeln kann.

Allerdings lässt sich nicht garantieren, dass die für die gegebenen Anforderungen auch wirklich die beste Lösung gefunden wurde. Abbildung 2 zeigt einen imaginären, aber ohne weiteres ähnlich real beobachtbaren Zusammenhang zwischen zwei Designparametern und einer Anforderung. Es finden sich sechs Maximalstellen, von denen nur zwei auch wirklich optimale Werte darstellen. Auch wenn im Zuge des Entwicklungsprozesses Optimierung stattfindet, so wird eine falsch erratene Lösung selten den Optimalwert erreichen.

Abbildung 2 suggeriert auch, dass das Gebirge bekannt ist. Da aber jeder Punkt dieser Oberfläche zur korrekten Ermittlung (essentielle Modelle sind und bleiben Näherungen) die vollständige Entwicklung der Lösung mit diesen DP's erfordert, kann mit endlichen Mitteln höchstens eine gröbste Vorerkundung finanziert werden. Diese ist mitunter so aussagekräftig wie Abbildung 3 für das Problem aus Abbildung 2. Die kleineren Optima gehen verloren, und die interessanten Gipfel verschmelzen zu einem, dessen Maximalwert in der Mitte anzunehmen ist – tatsächlich liegt man dort aber höchstens im Mittelfeld. Weiters fallen negativ auf, dass die verschiedenen Wirkprinzipien verschiedene Formelsätze verwenden und somit Sprünge im Optimierungsgebirge erzeugen. Von Walen mit 1.7 (eins komma sieben) Flossen wurde noch nicht berichtet - Flossenzahlen sind diskret. Darüberhinaus kann nicht davon ausgegangen werden, dass Parameter und Umgebungsbedingungen überall im Lebenszyklus eines Wals gleich sind. Zur Auslegung eines optimalen Wales ein Horror.

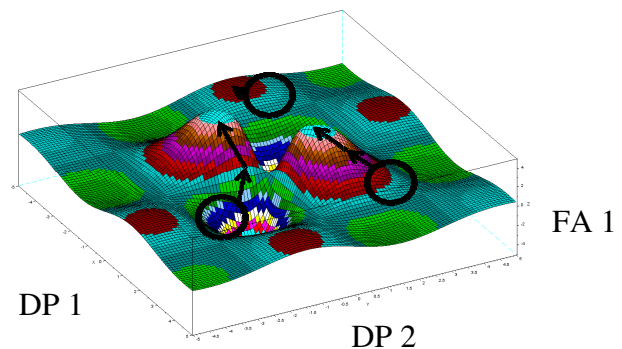


Abbildung 2: Ein Optimierungsgebirge

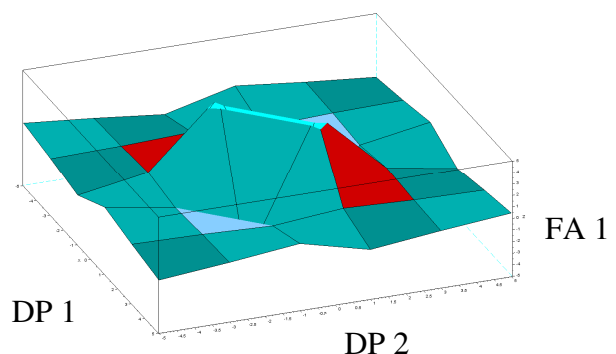


Abbildung 3: Grobe Erkundung des Optimierungsproblems

Genetische Algorithmen und ihre Verwandten

Derartigen Optimierungsproblemen begegnet mit Verfahren, die Anleihen aus der Natur enthalten. Damit lassen sich zwar das Auffinden des Optimums nicht garantieren, zumindest aber das hochwahrscheinliche Auffinden eines ziemlich optimalen Punktes in endlicher Zeit. Nachdem Zeit angeblich Geld ist, ein ziemlich guter Deal.

Der namhafteste Vertreter, die Gruppe der genetischen Algorithmen, arbeiten dabei ähnlich der Evolution: Eine Lösung wird durch mehrere Eigenschaften gekennzeichnet, aus denen das sogenannte Genom gebaut wird. Eine Startpopulation von Genomen, Lösungen wird evaluiert und an den Anforderungen gemessen. Die besten Lösungen „überleben“ – ein Selektionsschritt. All jene Lösungen, die nicht ausgesiebt wurden, dürfen sich nun mit anderen Lösungen „paaren“, wobei ihre Eigenschaften gekreuzt werden. Was im Zuge dieser Kreuzung genau geschieht, liegt in der Hand des Entwicklers und kann die Geschwindigkeit des Lösungsprozesses stark beeinflussen. Die Ergebnisse dieser wilden Kreuzerei können zusätzlich noch mutieren, sprich kleine zufällige Veränderungen des Genoms erfahren. Die neue Population wird nun wieder bewertet und der Kreis schließt sich. Sobald keine deutlich besseren Lösungen mehr gefunden werden, bricht man ab.

Andere Verfahren kopieren eine Ameisenkolonie auf Futtersuche (viel Futter wäre an Punkten mit gut erfüllten Anforderungen) oder Teilchenwolken deren Teilchen sich gegenseitig anziehen und abstoßen.

Für alle Optimierungsverfahren gilt das „No-Free-Lunch-Theorem“. Es besagt, dass, bei Betrachtung aller Optimierungsprobleme keine Optimierungsverfahren schneller das Optimum findet als andere. Genauer: jedes Verfahren funktioniert nur für eine bestimmte Klasse von Problemen gut. Im Schnitt ist jedes Verfahren so effizient wie das zufällige Ausprobieren von Lösungen.

Fazit

Für Produktentwickler ergäbe sich nun folgende Verschiebung im Arbeitsalltag: an die Stelle einer Arbeitsweise, die viel Erfahrung mit den verwendeten Technologien voraussetzt und iteriert bis zum Erreichen der Lösung tritt eine von Algorithmen dominierte Methodik. Für gute Entwicklung ist die Beherrschung der Optimierungsalgorithmen erforderlich. Die Hauptarbeit stellt dann das Aufstellen passender Modelle dar, gefolgt von der Auswahl des (hoffentlich passenden) Optimierungsalgorithmus. Diesen konfiguriert man und lässt ihn rechnen, um einen guten Rohentwurf zu finden.

Bis alle beteiligten Entwicklungswerkzeuge derart zusammenspielen, dass diese Vision wirtschaftlich anwendbar wird, fließt allerdings noch eine Menge Wasser den Wal hinunter.

```

( %i1) kill(all);
( %o0) done

( %i1) T_stro: C_w * A_proj * rho_Was * v^2 /2;
/*
T_stro Strömungswiderstand
C_W Formabhängiger Widerstandsbeiwert
A_proj In Schwimmrichtung projizierte Walfläche
v Schwimmgeschwindigkeit
*/;
(T_stro) 
$$\frac{A_{proj} C_w \rho_{Was} v^2}{2}$$


( %i2) P_schwimm: T_stro * v;
/*
P_schwimm Benötigte Schwimmleistung
*/;
(P_schwimm) 
$$\frac{A_{proj} C_w \rho_{Was} v^3}{2}$$


( %i3) m_Wal: rho_Wal * A_proj * L;
/*
m_Wal Masse eines - prismatischen - Wales
rho_Wal mittlere Dichte
L Länge des Wals
*/;
(m_Wal) 
$$A_{proj} L \rho_{Wal}$$


( %i4) m_mu: r_mu * m_Wal;
/*
m_mu Muskelmasse selbigen Wales
r_mu Muskelanteil pro Kilogramm Wal
*/;
(m_mu) 
$$A_{proj} L r_{mu} \rho_{Wal}$$


( %i5) P_mu : k_mu * m_mu;
/*
P_mu Abrufbare Muskelleistung
k_mu Leistung eines Kilogramms Muskel
*/;
(P_mu) 
$$A_{proj} L k_{mu} r_{mu} \rho_{Wal}$$


```

```

(%i6)  sols: solve(P_schwimm = P_mu, v);
/*
Walgeschwindigkeit wenn alle Leistung fürs Schwimmen aufgeht
*/;

(sols)  [v= 
$$\frac{\left(2^{1/3} \sqrt{3} \%i - 2^{1/3}\right) L^{1/3} k_{mu}^{1/3} r_{mu}^{1/3} rho_{Wal}^{1/3}}{2 C_w^{1/3} rho_{Was}^{1/3}}, v= -$$


$$\frac{\left(2^{1/3} \sqrt{3} \%i + 2^{1/3}\right) L^{1/3} k_{mu}^{1/3} r_{mu}^{1/3} rho_{Wal}^{1/3}}{2 C_w^{1/3} rho_{Was}^{1/3}}, v=$$


$$\frac{2^{1/3} L^{1/3} k_{mu}^{1/3} r_{mu}^{1/3} rho_{Wal}^{1/3}}{C_w^{1/3} rho_{Was}^{1/3}} ]$$


(%i7)  v_sol: rhs(sols[3]);
/*
Die einzig realistische Lösung ist die positive reelle.
*/;

(v_sol) 
$$\frac{2^{1/3} L^{1/3} k_{mu}^{1/3} r_{mu}^{1/3} rho_{Wal}^{1/3}}{C_w^{1/3} rho_{Was}^{1/3}}$$


(%i8)  v_max: v_sol, rho_Wal = rho_Was;
/*
Annahme gleicher Dichte, da Wale sowohl tauchen als auch
auf dem Wasser schwimmen
*/;

(v_max) 
$$\frac{2^{1/3} L^{1/3} k_{mu}^{1/3} r_{mu}^{1/3}}{C_w^{1/3}}$$


(%i9)  v_max*3.6 /*km/h*/, k_mu = 54.45 /*m2/s3*/,
r_mu=0.25, C_w=0.35, L=25, numer;
/* Einsetzen von Messwerten */;

(%o9)  44.93476261263311

--> /*
Ein Blauwal kann ungefähr 45 km/h laut unserer Schätzung.
Laut Wikipedia bis zu 48 km/h. Modell scheint gut genug.
*/;

```